

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería Industrial  
Escuela Profesional de Agroindustrial e Industrias Alimentarias



## TESIS

**Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de  
banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con  
gel de sábila (*Aloe vera*). PERÚ. 2019.**

**Presentada por:**

**Br. Danixa Marilyn Zapata Criollo**

**Asesorada por:**

**Dr. Alfredo Lázaro Ludeña Gutiérrez**

**Co-asesorada por:**

**Ing. John Henry Rimaycuna Ramírez**

**Línea de investigación:**

**Agroindustria y Seguridad Alimentaria**

**Sub línea de investigación:**

**Biotecnología**

**Piura, Perú  
2019**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería Industrial  
Escuela Profesional de Agroindustrial e Industrias Alimentarias



## TESIS

**Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de  
banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con  
gel de sábila (*Aloe vera*). PERÚ. 2019.**

Línea de investigación  
Agroindustria y seguridad alimentaria

**LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO  
DE TESIS ES ORIGINAL EN SU CONTENIDO Y FORMA**

Br. Danixa M. Zapata Criollo  
Ejecutor

Dr. Alfredo L. Ludeña Gutiérrez  
Asesor

Ing. John H. Rimaycuna Ramírez  
Co-Asesor

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: Danixa Marilyn Zapata Criollo, identificado con CU N°  
1822012059 DNI N° 47998459, Bachiller de Escuela Profesional de  
Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias, de la Facultad de Ingeniería  
Industrial y domiciliado en calle Orbegozo #600 Aa. Hh. "El Obrero" el  
Distrito Sullana Provincia Sullana Departamento Piura Celular:  
948399361 Email: danixazapatac@gmail.com

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 22 de Marzo del 2019.



DNI N° 47998459

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales -RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería Industrial  
Escuela Profesional de Agroindustrial e Industrias Alimentarias





## TESIS


**Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de  
banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con  
gel de sábila (*Aloe vera*). PERÚ. 2019.**

Línea de investigación  
Agroindustria y Seguridad Alimentaria

**APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Ignacio Quispe Neyra**  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Ricardo G. Seminario Vásquez**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Carlos E. Mariano Coello Oballe**  
Vocal





UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
DECANATO



ACTA DE EVALUACIÓN Y SUSTENTACIÓN DE TESIS

Expediente N° 1637 / 2018

Los miembros del Jurado Calificador Ad-Hoc de la Sustentación de Tesis nombrado con Resolución N° 678-CF-FII-UNP-18 de fecha 07/08/2018 que suscriben, se reunieron en acto público en la sala de exposiciones de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Piura, el día **04 de Marzo del 2019** a las **11:00 am**, para evaluar la defensa de la Tesis titulada **"EVALUACIÓN DE BIOPELÍCULAS FORMULADAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (Musa paradisiaca) Y YUCA (Manihot esculenta) CON GEL DE SÁBILA (Aloe vera)"**, presentada por la Bachiller **DANIXA MARILYN ZAPATA CRIOLLO** y asesorada por el Dr. **ALFREDO LÁZARO LUDENA GUTIÉRREZ** y co-asesorada por el Ing. **JOHN RIMAYCUNA RAMIREZ**.

Después de haber calificado el Informe Final de la Tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara Aprobada para optar el Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** con el puntaje de 81.0 que corresponde al calificativo de Sobresaliente.

Jurado	Presidente	Secretario	Vocal	Puntaje Promedio
Calificación				
Documento (Max 60 puntos)	49	47	44	46.7
Sustentación (Max 40 puntos)	33	37	33	34.3
PUNTAJE TOTAL				81.0

En consecuencia, la sustentante queda en condición de recibir el Título Profesional que se indica, conferido por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura de conformidad con las Normas Estatutarias y la Ley Universitaria en vigencia.

Ciudad Universitaria, 04 de Marzo del 2019



Dr. JUAN IGNACIO QUISPE NEYRA	MSc. RICARDO GERÓNIMO SEMINARIO VÁSQUEZ	MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO COELLO OBALLE
PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL

## Dedicatoria

*Esta tesis se la dedico a Dios, al forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, al creador de las personas que más amo. A ti mi señor que pusiste en mi camino a personas correctas que me apoyaron en todo momento en este proceso de ejecución.*

*Asimismo, dedico este proyecto de tesis de manera especial a mi papá Santiago, a mi mamá Merilda, a mis hermanos Karin, Robert, Indira, Anthony y a mis pequeños sobrinos Camila, Leandro, David, Akemy, Flavia y Danae quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional y estuvieron al pendiente en cada proceso de elaboración.*

*Y por último pero no menos importante, le dedico este pequeño trabajo a la familia Zevallos Marchán por su hospitalidad y buen trato. Al señor Guillermo, a la señora Hilda, Carlos, Luis y a César por su infinito apoyo, gracias por acompañarme en esta travesía y por nunca negarme tu apoyo.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por su infinita misericordia, por llenarme de fuerzas para continuar y concluir este proyecto, por ser tan bueno y brindarme una familia tan hermosa las cuales son mi mayor motivo y apoyo en mi formación. Gracias señor por un día más de vida y poder gozar de cada miembro de mi familia. Agradezco a mis padres y mi hermana Karin por permitirme conocer de Dios y de su amor sincero.

Agradecer al Dr. Alfredo Ludeña por aceptar desde un principio ser mi asesor y apoyarme con el uso del Laboratorio Agroindustrial de la Universidad Nacional de Piura. Desde luego permitirme el uso de equipos importantes y confiarme el cuidado de ellos. Por atender cada llamada y responder cada duda.

Un agradecimiento muy especial al docente de la Universidad Nacional de Tumbes, el Ingeniero John Rimaycuna Ramírez por haber dispuesto de su tiempo, aceptar ser mi co-asesor, brindarme su apoyo y compartirme de sus valiosos conocimientos durante la ejecución de la tesis. Al mismo tiempo, agradecer a la Ingeniera Angie Gonzaga por sus consejos en la ejecución y redacción del presente, por brindarme información y enseñarme los cálculos de cada análisis a desarrollar.

Al Dr. Gerardo Cruz Cerro por permitirme el uso del Laboratorio Forestal de la Universidad Nacional de Tumbes y el uso del material y equipos.

A cada uno de ustedes, de todo corazón. ¡Muchas gracias!

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA .....	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	4
1.2 FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 Objetivo general: .....	5
1.4.2 Objetivos específicos: .....	6
1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.5.1 Delimitación espacial: .....	6
1.5.2 Temporal: .....	6
1.5.3 Económica: .....	6
- Los gastos fueron solventados por la tesista. ....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.2 BASES TEÓRICAS .....	9
2.2.1 Bioplásticos .....	9
2.2.2 Almidón .....	10
2.2.3 Almidón de Banano verde ( <i>Musa paradisiaca</i> ) .....	12
2.2.4 Almidón de Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ) .....	14
2.2.6 Gel de Sábila ( <i>Aloe vera</i> ) .....	16
2.2.7 Plastificante .....	16
2.2.8 Glicerina .....	17
2.2.9 Solubilidad en las películas .....	18
2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	19
2.4 HIPÓTESIS .....	19
2.4.1 Hipótesis General .....	19
2.4.2 Hipótesis Específicas .....	19
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	20
3.1 ENFOQUE Y DISEÑO .....	20
3.2 SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
3.2.1 Población .....	20
3.2.2 Muestra .....	20
3.2.3 Muestreo .....	20



3.3	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS .....	20
3.3.1	Pruebas Preliminares .....	20
3.3.2	Método de investigación.....	21
3.3.3	Procedimiento.....	21
3.3.3.1	Obtención de la Materia prima (Yuca y Banano verde).....	21
3.3.3.2	Acondicionar la materia prima (descortezado y lavado) .....	21
3.3.3.3	Extracción de almidón .....	22
3.3.3.4	Caracterización físico-química de los almidones .....	22
3.3.3.4.1	Identificación de almidón .....	23
3.3.3.4.2	Identificación de Amilosa y Amilopectina.....	23
3.3.3.4.3	Determinación de Lípidos .....	24
3.3.3.4.4	Determinación de Humedad por el método rápido de Termobalanza .....	24
3.3.3.4.5	Determinación de Cenizas .....	24
3.3.3.5	Extracción de gel de sábila. ....	25
3.3.3.6	Disolución del Ácido Acético al 1% (v/v).....	25
3.3.3.7	Preparación del Quitosano al 1% (p/v).....	25
3.3.3.8	Preparación de la Glicerina.....	26
3.3.3.9	Preparación de las Biopelículas .....	26
3.3.4	Evaluación de las biopelículas.....	27
3.3.4.1	Propiedades Físicas .....	27
3.3.4.1.1	Medición del Espesor .....	27
3.3.4.1.2	Determinación de Humedad .....	27
3.3.4.1.3	Determinación de Solubilidad .....	27
3.3.4.1.4	Determinación de la Permeabilidad al Vapor de Agua .....	28
3.3.4.2	Propiedades Mecánicas.....	29
3.3.4.2.1	Esfuerzo de Tracción de Corte y Elongación .....	29
3.3.4.3	Propiedades de biodegradación .....	30
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	31
3.4	ASPECTOS ÉTICOS .....	31
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
4.1	RESULTADOS .....	32
4.1.1	IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN.....	32
4.1.2	IDENTIFICACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA .....	32
4.1.3	ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ALMIDONES .....	33
4.1.4	PROPIEDADES FÍSICAS .....	34
4.1.4.1	ESPESOR .....	34
4.1.4.2	HUMEDAD.....	36

4.1.4.2.1 Análisis Estadístico .....	38
4.1.4.3 SOLUBILIDAD .....	40
4.1.4.3.1 Análisis Estadístico .....	43
4.1.4.4 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.....	46
4.1.4.4.1 Análisis Estadístico .....	49
4.1.5 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	52
4.1.5.1 ESFUERZO DE TRACCIÓN EN EL CORTE Y ELONGACIÓN.....	52
4.1.5.1.1 Análisis Estadístico .....	54
4.1.6 PROPIEDADES DE BIODegradación .....	59
4.1.6.1 BIODegradación ANAERÓBICA.....	59
4.1.6.1.1 Análisis Estadístico .....	61
4.1.6.2 BIODegradación AERÓBICA .....	65
4.1.6.2.1 Análisis Estadístico .....	67
4.2 DISCUSIÓN .....	70
4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN (AMILOSA Y AMILOPECTINA) .....	70
4.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ALMIDONES .....	71
4.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS .....	71
4.2.3.1 ESPESOR .....	71
4.2.3.2 HUMEDAD.....	72
4.2.3.3 SOLUBILIDAD .....	73
4.2.3.4 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.....	73
4.2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	74
4.2.5 PROPIEDADES DE BIODegradación .....	75
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES .....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
ANEXOS .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones nativos.....	11
Tabla 2.2. Propiedades a diferentes etapas de maduración del banano verde.....	13
Tabla 3.1. Composición de las películas de Almidón de Banano verde y Yuca al 3% y 4%.....	26
Tabla 4.1. Resultados del contenido de Amilosa y Amilopectina.....	32
Tabla 4.2. Composición químico de los almidones.....	33
Tabla 4.3. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de banano verde al 3%.....	38
Tabla 4.4. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de banano verde al 3%.....	38
Tabla 4.5. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de banano verde al 4%.....	38
Tabla 4.6. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de banano verde al 4%.....	39
Tabla 4.7. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de yuca al 3%.....	39
Tabla 4.8. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de yuca al 3%.....	39
Tabla 4.9. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de yuca al 4%.....	40
Tabla 4.10. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de yuca al 4%.....	40
Tabla 4.11. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.....	43
Tabla 4.12. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.....	44
Tabla 4.13. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.....	44
Tabla 4.14. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.....	45
Tabla 4.15. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.....	45
Tabla 4.16. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.....	45
Tabla 4.17. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.....	46
Tabla 4.18. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.....	46
Tabla 4.19. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de banano verde al 3%.....	49
Tabla 4.20. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de banano verde al 3%.....	49
Tabla 4.21. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de banano verde al 4%.....	50
Tabla 4.22. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de banano verde al 4%.....	50
Tabla 4.23. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de yuca al 3%.....	50

Tabla 4.24. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de yuca al 3%.....	51
Tabla 4.25. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de yuca al 4%.....	51
Tabla 4.26. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de yuca al 4%.....	51
Tabla 4.27. Propiedades mecánicas de almidón de banano verde.....	53
Tabla 4.28. Propiedades mecánicas del almidón de yuca.....	53
Tabla 4.29. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de banano verde al 3%.....	54
Tabla 4.30. Análisis de Varianza para la elongación en películas de almidón de banano verde al 3%.....	54
Tabla 4.31. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de banano verde al 4%.....	54
Tabla 4.32. Método de Tukey para el esfuerzo de tracción en el corte de películas de almidón de banano verde al 4%.....	55
Tabla 4.33. Análisis de Varianza para la elongación en películas de almidón de banano verde al 4%.....	55
Tabla 4.34. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de yuca al 3%.....	56
Tabla 4.35. Método de Tukey para el esfuerzo de tracción en el corte de películas de almidón yuca al 3%.....	56
Tabla 4.36. Análisis de Varianza para la elongación de películas de almidón de yuca al 3%.....	56
Tabla 4.37. Método de Tukey para la elongación de películas de almidón de yuca al 3%.....	57
Tabla 4.38. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de yuca al 4%.....	57
Tabla 4.39. Método de Tukey para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 4%.....	58
Tabla 4.40. Análisis de Varianza para la elongación de películas de almidón de yuca al 4%.....	58
Tabla 4.41. Método de Tukey para la elongación de películas de almidón de yuca al 4%.....	58
Tabla 4.42. Resultados de porcentaje de pérdida de peso con respecto al primer día de las películas en condiciones anaeróbicas.....	59
Tabla 4.43. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.....	61
Tabla 4.44. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.....	61
Tabla 4.45. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.....	62
Tabla 4.46. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.....	62
Tabla 4.47. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.....	63
Tabla 4.48. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.....	63

Tabla 4.49. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.....	63
Tabla 4.50. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.....	64
Tabla 4.51. Resultados de porcentaje de pérdida de peso con respecto al primer día de las películas en condiciones aeróbicas.....	65
Tabla 4.52. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.....	67
Tabla 4.53. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.....	67
Tabla 4.54. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.....	68
Tabla 4.55. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.....	68
Tabla 4.56. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.....	68
Tabla 4.57. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.....	69
Tabla 4.58. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.....	69
Tabla 4.59. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Resultado de la evaluación química de los almidones. ....	34
Gráfico 4.2. Espesor de películas que contienen almidón de banano verde. ....	35
Gráfico 4.3. Espesor de películas que contienen almidón de yuca. ....	36
Gráfico 4.4. Humedad (%) de las películas que contienen almidón de banano verde.....	37
Gráfico 4.5. Humedad (%) de las películas que contienen almidón de yuca.....	37
Gráfico 4.6. Solubilidad (%) de las películas que contienen almidón de banano verde.....	41
Gráfico 4.7. Solubilidad (%) de las películas que contienen almidón de yuca.....	42
Gráfico 4.8. Permeabilidad al vapor de agua del 3% de almidón de banano verde y yuca....	47
Gráfico 4.9. Permeabilidad al vapor de agua del 4% de almidón de banano verde y yuca....	48
Gráfico 4.10. ETC y Alargamiento de almidón de banano verde al 3%.....	52
Gráfico 4.11. ETC y Alargamiento de almidón de banano verde al 4%.....	52
Gráfico 4.12. ETC y Alargamiento del almidón de yuca al 3%.....	52
Gráfico 4.13. ETC y Alargamiento del almidón de yuca al 4%.....	52
Gráfico 4.14. Curvas de biodegradación de las películas en condiciones anaeróbicas.....	60
Gráfico 4.15. Curvas de biodegradación de las películas en condiciones aeróbicas.....	66



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Molécula de Amilosa.....	12
Figura 2.2. Molécula de Amilopectina.....	12
Figura 4.1. Resultado final de las muestras de almidón de banano verde al 3%.....	41
Figura 4.2. Resultado final de las muestras de almidón de banano verde al 4%.....	41
Figura 4.3. Resultado final de las muestras de almidón de yuca al 3%.....	43
Figura 4.4. Resultado final de las muestras de almidón de yuca al 4%.....	43
Figura 4.5. Tubos de ensayo en su último día de evaluación.....	48
Figura 4.6. Resultado final de las películas de almidón de yuca y banano verde al 3 y 4% en biodegradación anaeróbicas.....	60
Figura 4.7. Resultado final de las películas de almidón de yuca y banano verde al 3 y 4% en biodegradación aeróbicas.....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	90
Anexo A. Extracción de Almidón (Banano Verde y Yuca).....	90
Anexo B. Identificación de almidón.....	91
Anexo C. Identificación de Amilosa y Amilopectina.....	92
Anexo D. Determinación de Lípidos. ....	93
Anexo E. Determinación de Humedad por el método rápido de Termobalanza. ....	96
Anexo F. Determinación de Cenizas. ....	96
Anexo G. Extracción del Gel de Sábila. ....	95
Anexo H. Preparación de las Biopelículas.....	95
Anexo I. Medición del Espesor. ....	97
Anexo J. Determinación de Humedad.....	97
Anexo K: Determinación de Solubilidad. ....	98
Anexo L. Determinación de la Permeabilidad al Vapor de Agua. ....	98
Anexo M. Esfuerzo de Tracción de Corte y Elongación. ....	99
Anexo N. Biodegradación al suelo. ....	99
CURVAS Y TABLAS.....	101
Anexo 1. Curva de Calibración. ....	101
Anexo 2. Resultados finales de la Permeabilidad al vapor de agua. ....	102
Anexo 3. Resultados finales del Esfuerzo de tracción en el corte y % de Elongación.....	103

## RESUMEN

En el presente estudio se elaboraron películas biodegradables por el método de *Casting* a partir de mezclas de almidón de banano verde y yuca a concentraciones de 3% y 4% con quitosano comercial al 1%, combinados con glicerina como agente plastificante y gel de sábila como agente anti fúngico a una concentración del 5%. Las películas en estudio se evaluaron tanto sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas como biodegradables, aplicando un diseño en bloques completamente aleatorizados, con el objetivo de dar a conocer y evaluar la influencia de las diferentes concentraciones y tipo de almidón sobre las propiedades de las películas. Se pudo determinar que el espesor de las películas aumenta de manera significativa cuando se aumenta la concentración de almidón, influyendo de la misma manera en la permeabilidad al vapor de agua, en la solubilidad y en el esfuerzo de tracción en el corte pero no en la humedad de las películas. A menor concentración de almidón usado en las películas, mayor es la humedad y mayor es la biodegradación de suelo. Se pudo determinar que las películas formuladas con almidón y quitosano tienen mejores propiedades mecánicas y biodegradables que las que fueron elaboradas solo con almidón. Se concluyó que las propiedades de las películas están influenciadas por la concentración de almidón y en menor medida por la fuente de almidón.

***Palabras claves:*** películas biodegradables, concentración de almidón, quitosano, glicerina, propiedades fisicoquímicas, propiedades mecánicas, biodegradabilidad, gel de sábila.

## ABSTRACT

In the present study, biodegradable films were made by the Casting method from mixtures of green banana starch and cassava at concentrations of 3% and 4% with 1% commercial chitosan, combined with glycerin as a plasticizing agent and aloe vera gel. anti fungal agent at a concentration of 5%. The films under study evaluated both their physicochemical, mechanical and biodegradable properties, applying a design in completely randomized blocks, with the aim of making known and evaluating the influence of different concentrations and type of starch on the properties of the films. It was determined that the thickness of the films increases significantly when the concentration of starch is increased, influencing in the same way the water vapor permeability, the solubility and the tensile stress in the cut but not in the humidity of the films. The lower the concentration of starch used in the films, the greater the humidity and the greater the biodegradation of the soil.

It could be determined that the films formulated with starch and chitosan have better mechanical and biodegradable properties than those that were made only with starch. It was concluded that the properties of the films are influenced by the concentration of starch and to a lesser extent by the source of starch.

**Keywords:** *biodegradable films, concentration of starch, chitosan, glycerin, physicochemical properties, mechanical properties, biodegradability, aloe gel.*

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, no se deja de hablar sobre el cuidado del medio ambiente, el calentamiento global, el exceso de contaminación en el aire, la contaminación de ríos, lagos, mares, entre otros.

Pero, nos hemos puesto a pensar, ¿qué pasa con los envases de acondicionadores, gel, agua, refresco, y las bolsas que dan al ir de compras; para comenzar, todas ellas están hechas de plástico y lo cierto es que tardan miles de años en degradarse, por ejemplo, una bolsa plástica tarda alrededor de 100 años en degradarse y una botella puede llegar a tardar hasta mil años. De esta manera, estamos contaminando el planeta a diario.

Los plásticos convencionales, producidos a partir de derivados del petróleo, originan enormes problemas de contaminación ambiental por no ser biodegradables, permaneciendo como contaminantes durante largos períodos. Al respecto se han originado una enorme cantidad de investigaciones, con el objetivo de obtener polímeros biodegradables con propiedades idénticas a las de los plásticos convencionales, que puedan sustituir a estos últimos en aplicaciones semejantes.

El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y al año consumimos 300 millones de toneladas y como consecuencia se lanzan a la atmósfera toneladas de dióxido de carbono. Al adquirir productos con envases hechos de plástico y desechar estos, inconscientemente estamos contaminando al planeta.

Entonces, bien gracias a la bioingeniería se han creado “bioplásticos o plásticos verdes” que son 100% degradables. Su tiempo de degradación no tarda más de un año, están hechas a partir de resinas vegetales, almidones, contaminan 85% menos que el plástico convencional y por consiguiente estos nuevos productos parecen ser la mejor alternativa para dejar de contaminar tanto al planeta.

El bioplástico, fabricado a partir de almidón comparte las características con los elaborados a través de derivados de petróleo. La mayor diferencia entre el plástico que actualmente se fabrica y el producido con base en almidón, es que el segundo es completamente biodegradable y no tóxico, una vez degradado puede usarse incluso como material de compostaje (abono). Esta ventaja proviene, precisamente, en el origen vegetal de la materia prima, lo que reduce nuestra dependencia del petróleo, que desde décadas domina nuestra sociedad.

# **CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

## **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Los plásticos son una de las corrientes de residuos que ha despertado mayor interés en los últimos años, debido a su continuo crecimiento y a sus efectos ambientales, que incluyen la saturación de sitios de disposición final y afectaciones en los ecosistemas, a los que llegan debido a un manejo inadecuado.

Geyer (2017). Mencionó en un artículo publicado en la revista Science Advances que en el 2015, se generaron 6 300 millones de toneladas de residuos plásticos aproximadamente. Se estima que hasta la fecha se produjeron 8 300 millones de toneladas de plástico virgen en donde el 9% es reciclado, el 12% incinerado y el 79% es acumulado en vertederos o entornos naturales. Si continúa esta producción y gestión de residuos, en el 2050 habrá aproximadamente 12 000 millones de toneladas de basura plástica en vertederos o en el medio ambiente.

El Perú genera 6,8 millones de toneladas de desechos sólidos al año, según un informe de 2017 del Ministerio del Ambiente (Minam). Lima y Callao son responsables de la mitad de esa cifra: tres millones de toneladas al año.

Los desechos orgánicos son los más frecuentes (53%) en la capital. Les sigue el plástico con 3.600 toneladas por año (11%) y en el mar se ve el mayor impacto. Más del 60% de lo que recoge la ONG Vida en playas capitalinas es plástico. (Paz. 2008).

En Piura, los residuos plásticos son comercializados a través de recuperadores ubicados en el botadero municipal y acopiadores que los venden en Lima y Trujillo a las fábricas transformadoras. Piura tiene una producción per cápita de residuos promedio de 0.6 kg/día; se generan 7 298 kg/día (219 t/mes) de residuos plásticos, de los cuales se recuperan aproximadamente 20 t/mes es; decir el 9% de los residuos generados. (Rivera. 2004).

La existencia de residuos plásticos en los mares es más que un problema estético, pues representa un peligro para los organismos marinos que sufren daños por ingestión y atragantamiento. Se calculan en cientos de miles las muertes de mamíferos marinos al año por esta causa. En aves se determinó que 82 de 144 especies estudiadas contenían fragmentos de plástico en sus estómagos y en algunas especies hasta el 80% de los individuos los presentan. Además, se ha demostrado que los plásticos acumulan compuestos químicos tóxicos como los bifenilos policlorados, el diclorodifenil dicloroetano y los nonifenoles, que no son muy solubles en agua y por esta razón se adhieren y se acumulan en los plásticos. Así, los fragmentos de plástico funcionan como transporte de contaminantes a los mares. Se ha demostrado que organismos marinos planctónicos, animales filtradores y aquellos que se alimentan de detritos, ingieren estos plásticos y en muchos casos éstos quedan atrapados en sus tejidos. (Segura *et. al.* 2007).



## **1.2 FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Se pudo medir las características del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y banano verde (*Musa paradisiaca*) combinado con el gel de sábila (*Aloe vera*), en la obtención de un bioplástico?

### **PREGUNTAS ESPECÍFICAS**

- ¿Se pudo caracterizar los almidones utilizando como matriz del bioplástico?
- ¿Se pudo evaluar las propiedades físico-mecánicas de las películas obtenidas?
- ¿Cómo fue la biodegradación aeróbica y anaeróbica de las películas?
- ¿Tuvieron mejores resultados las películas adicionándole Quitosano?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La obtención de bioplásticos a partir de materiales orgánicos tiene un enorme potencial a futuro debido a su aporte ecológico y aprovechamiento de recursos naturales en lugar de derivados del petróleo.

La explotación del petróleo, recurso natural, que es utilizado para la elaboración de materia prima como es el plástico, conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente que afecta en forma directa al suelo, agua, aire, y a la fauna y la flora.

Debido a esta problemática se propuso crear un plástico que se desintegre fácilmente al ecosistema en el que vivimos, este a su vez tuvo cualidades similares al plástico derivado del petróleo como su resistencia, eficacia entre otras de ahí surgió la necesidad de la creación del bioplástico el cual se desintegró fácilmente al ambiente, debido a que estuvo elaborado por material orgánico, y este no es perjudicial para el ambiente.

Con el desarrollo de esta investigación se buscó reducir la contaminación con la elaboración de un producto que reemplace al plástico, de tal forma que ayude tanto al medio ambiente como a los seres vivos que habitan en él.

Existe una tendencia mundial a valorar la innovación y el emprendiendo, inclusive en nuestro país existe apoyo gubernamental para los emprendedores.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general:**

- Evaluar las características de las biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*).

#### **1.4.2 Objetivos específicos:**

- Caracterizar los almidones utilizando como matriz del bioplástico.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las películas obtenidas.
- Determinar la biodegradación aeróbica y anaeróbica de las películas obtenidas.
- Formular películas adicionando quitosano.

### **1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1 Delimitación espacial:**

- Laboratorio de Agroindustrias en la Universidad Nacional de Piura.
- Laboratorio Forestal en la Universidad Nacional de Tumbes.

#### **1.5.2 Temporal:**

- La duración del estudio que se ejecutó fue de 4 meses aproximadamente.

#### **1.5.3 Económica:**

- Los gastos fueron solventados por la tesista.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Kaewtatip y Thongmee (2013), propuso el mejoramiento de las limitaciones de adsorción de vapor de agua en polímeros a base de almidones. En los resultados obtenidos, se presentaron mejoras en la absorción de agua de las muestras debido a una mayor disponibilidad de interacción de la amilosa con otros componentes, lo cual propicia una disminución en las interacciones de los grupos hidrofílicos de estos, al mismo tiempo que se presentó una reducción en los puntos activos de adsorción.

El almidón, el cual es el componente mayoritario en la yuca tiene una densidad superior a la mayoría de polímeros termoplásticos convencionales y presentan baja resistencia a disolventes y aceites. Por su estructura de polisacárido, ofrece propiedades moderadas de permeabilidad al oxígeno y en general, buenas propiedades de barrera a los gases. Sin embargo, este material es muy sensible a la humedad y al contacto con agua, lo que limita sus características funcionales y el rango de sus aplicaciones en el sector industrial (REMAR, 2011).

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón de yuca y banano verde, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros. En general, el agua se recomienda como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones muy altas con relación al almidón, debido a que para extraerla de la mezcla, una vez ésta se encuentre lista, es necesario elevar la temperatura a la de ebullición del agua, lo que puede degradar la estructura del almidón. Al igual que el agua, la glicerina es un plastificante y además brinda humectación al polímero. El alcohol polivinílico (PVA) es recomendado también como plastificante, teniendo en cuenta que se asegura que la cantidad de plastificantes dentro de la mezcla no debe exceder el 20 % del peso total. OFICINA EUROPEA DE PATENTES (2013).

En el año 2007 en el país de México y con la ayuda de CONYT de México se realizó un estudio, el objetivo de este fue elaborar películas biodegradables usando almidón de banano mezclado con glicerol y realizar su caracterización fisicoquímica y funcional (Zamudio, Bello Pérez *et al.* 2008).

Rahman *et al.* (2010), estudiaron el comportamiento térmico de mezclas de almidón plastificado con glicerol y alcohol polivinílico, ellos observaron que la adición de glicerol redujo la temperatura de fusión de las mezclas. Además las energías de activación de las mezclas determinadas por análisis termogravimétrico, fueron superiores a la de los componentes individuales.

Iguardia (2013) desarrolló un estudio en investigación acerca de la síntesis y caracterización de un bioplástico a partir de banano verde en las cuales logró sintetizar dicho bioplástico cuyas características de calidad lo definen como un producto adecuado para la elaboración de materiales de empaque.

Películas biodegradables obtenidas a partir de almidón de yuca fueron desarrolladas con éxito (Veiga-Santos *et al.* 2007, Henrique *et al.* 2008; Grisi *et al.* 2008; Souza *et al.* 2011), mostrando una baja permeabilidad a gases, sin embargo su limitación es en las propiedades mecánicas y una alta permeabilidad al vapor de agua (Yu *et al.* 2006), y la diferencia con películas de almidón de maíz radica en su estructura cristalina (Van Soest *et al.* 1996).

Meneses *et al.* (2010), estudió la extracción de almidón como una utilidad potencial de los residuos de poscosecha de segundas y terceras de plátano Dominico-Harton (*Musa AAB Simmonds*), que se desechan en basureros o se venden a precios bajos, generando problemas sanitarios y elevando los costos de comercialización del plátano de primera calidad, concluyendo, que mediante un método húmedo se obtiene una buena extracción de almidón de 56,76%.

Zamudio, Flores *et al.*, (2010), indicaron que la modificación química del almidón de plátano con hipoclorito de sodio aumenta las propiedades mecánicas de las películas. Sin embargo, al ser incluido un sustituyente hidrofílico, la permeabilidad al vapor de agua se incrementa aunque esta característica se controla por la adición de aceite de girasol. Este tipo de almidón se describió como adecuado para elaborar películas de matrices homogéneas, con estructuras estables a condiciones ambientales (25 °C, 57% HR), las cuales pueden ser prometedoras en la conservación postcosecha de frutas y vegetales.

Según García *et al.* (2011), los almidones por lo general son los más usados en la elaboración de películas biodegradables, siendo el almidón nativo de plátano un material prometedor para la elaboración de los mismos, pero tiene inconvenientes en sus propiedades Físicas y mecánicas, por lo cual realizaron una oxidación del almidón con hipoclorito de sodio para obtener un almidón blanqueado, el cual puede ser usado en la elaboración películas con mejores propiedades en color y resistencia.

Pelissari *et al.* (2013), realizaron un estudio comparativo de las propiedades de la harina y almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) en películas, concluyendo que las películas con harina de banano fueron menos resistentes mecánicamente, pero más flexible que las películas con almidón de banano. A pesar de la diferencia en la microestructura de las películas, la harina de banano fue ligeramente soluble en agua y su permeabilidad al vapor de agua fue similar a las películas de almidón. La película de harina presentó una microestructura discontinua que es más dura y porosa. La presencia de otros componentes (proteína, lípidos y fibra) en la película de harina tiene 25 efectos importantes sobre sus propiedades mecánicas. En general, la harina de plátano y el almidón son materiales muy prometedores para la formulación de capas y películas.

Se observó que al aumentar la concentración del almidón, también se incrementa la fuerza hasta su ruptura. No obstante, el glicerol disminuye la atracción intermolecular entre las cadenas poliméricas adyacentes incrementando así la flexibilidad de las películas (Chang, 2000).

El desempeño, procesabilidad y costos son los mayores desafíos para los polímeros biodegradables para ser efectivos y cumplir las funciones requeridas durante su vida útil y disposición final del producto, dónde el empaque plástico basado en petróleo será paulatinamente reemplazado (Navia, 2011).

Salleh, Muhamad y Khairuddin (2009) investigaron las propiedades físicas y estructurales de películas constituidas de mezclas de almidón y quitosano; llegando a la conclusión que ambos biopolímeros pueden formar películas exitosamente a través de la técnica de vertido. Estos polímeros exhiben propiedades diferentes cuando están mezclados que cuando se utilizan de manera individual. La apariencia física, la barrera a gases y al vapor de agua son las propiedades que mejoran cuando estos polímeros se encuentran mezclados en proporciones iguales (50% p/p bs).

Bourtoom y Chinnan (2008), determinaron que a medida que aumenta la relación almidón/quitosano se incrementaban las fuerzas de tensión y elongación, decreciendo la velocidad de transmisión del vapor de agua. Por el espectro de infrarrojo observó el cambio del pico del grupo amino de 1578 a 1584  $\text{cm}^{-1}$ . Estos resultados sugirieron que ambos polímeros son compatibles, y que existe interacción entre ellos.

Bangyekan, Aht-Ong y Srikulkit (2006), concluyeron que las películas de almidón de yuca y quitosano poseen una excelente interacción entre los componentes poliméricos, mejores propiedades superficiales y mecánicas, así como mayor capacidad para ser barrera al vapor de agua y un menor porcentaje de capacidad de retención de agua, comparado con las películas de almidón.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Bioplásticos**

Son denominados bioplásticos (BPL) los plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables. Una característica fundamental de los BPL es la biodegradabilidad lo que implica degradación y destrucción por la acción de los hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. Como norma general, se puede considerar que un material es biodegradable en medio húmedo cuando se degrada entre 28 y 60 días ó en medio seco o en compostaje natural, en 90 días. Actualmente, los grupos de polímeros considerados como BPL son los PLA (Ácido poliláctico); el PHA (polihidroxialcanoato), almidón (y almidones complejos) y otros poliésteres sintéticos, eventualmente de origen petrolífero. (ECOEMBES, 2009).

En la actualidad el término bioplásticos se usa para referenciar diferentes tipos de biopolímeros según su composición o su destino final. Una de las macromoléculas más utilizadas para la producción de plásticos biodegradables es el almidón, debido a su disponibilidad en productos como la yuca, [banano, arroz, papa entre otros], que es altamente cultivada a nivel mundial y a bajo costo (Merchan, *et al.*, 2009).

### 2.2.2 Almidón

El almidón es el segundo carbohidrato más abundante en la naturaleza, solamente superado por la celulosa. Se puede encontrar en hojas verdes, tallos, semillas o frutos (ARANAL, 1999). Las características físicas, químicas, funcionales y nutricionales del almidón lo diferencian del resto de los carbohidratos. Se considera la reserva de alimento predominante en plantas y provee del 70 al 80% de las calorías consumidas por los humanos a nivel mundial; además se considera entre los carbohidratos más digeribles (Whistler y BeMiller, 1997).

El hombre ha encontrado muchas aplicaciones para el almidón, extendiendo su diseño original como fuente de energía (Aranal, 1999). El almidón es único entre los carbohidratos, pues está formado por pequeñas partículas, llamadas gránulos. Las características de los gránulos se diferencian bastante entre sus diferentes fuentes. Los gránulos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan ligeramente en agua a temperatura ambiente. Otra característica única de el almidón es que sus gránulos están compuestos de una combinación de dos polímeros de glucosa: amilosa (un polisacárido lineal) y amilopectina (un polisacárido ramificado) (Whistler y BeMiller, 1997).

Los gránulos de almidón formados por amilosa y amilopectina constituido por unidades de glucosa, presentan diámetros entre 15-100  $\mu\text{m}$ . La amilosa, generalmente el menor componente, presenta una estructura lineal constituida por monómeros de glucosa ligados únicamente por enlaces  $\alpha$ -1,4. Forma muchos complejos insolubles con un gran número de moléculas que generalmente se precipitan. La amilopectina es generalmente el mayor componente y es altamente ramificada, formada por monómeros de glucosa ligados por enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 (Ruiz, 2006).

El almidón es uno de los materiales más versátiles, baratos, fácilmente disponible por su potencial uso en la tecnología de los polímeros (Vilpoux & Averous., 2002).

Cuando el almidón es sometido a un tratamiento hidrotérmico, este sufre una serie de cambios en su estructura, que causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos, lo que puede ayudar a mejorar sus propiedades de adsorción, durante este tratamiento los gránulos pasan por la fase de gelatinización, gelificación y retrogradación (Aristizabal y Sánchez, 2007).

Durante el calentamiento en presencia de suficiente agua, los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría no cambian su apariencia sino hasta alcanzar una temperatura crítica denominada temperatura de gelatinización, a la cual se hinchan formando una pasta viscosa, perdiendo sus características de birrefringencia dadas por las zonas cristalinas. (Bello-Pérez y Tovar, 2001; Badui, 1996).

Este residuo renovable está compuesto básicamente por dos macromoléculas: amilosa y amilopectina, que juntas representan aproximadamente 98-99% de su peso seco. La proporción entre ellas varía de acuerdo con la fuente botánica y el grado de maduración de la planta, lo que irá comprobar diferencias en las propiedades de las pastas del almidón (Ribeiro y Seravalli, 2004; Franco *et al.*, 2002).



<b>Origen Almidón</b>	<b>Amilosa (g/100g de almidón)</b>	<b>Amilopectina (g/100g de almidón)</b>
<b>Trigo</b>	28	72
<b>Maíz</b>	27	73
<b>Maíz Ceroso</b>	0-1	99
<b>Papa</b>	21	79
<b>Arroz</b>	17	83
<b>Arroz Ceroso</b>	0-2	98
<b>Yuca</b>	17	83
<b>Plátano</b>	11	89
<b>Malanga</b>	24	76

Tabla 2.1. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones nativos.

Fuente: Ellis *et al.* (1998); Moorthy (2002); Aparicio (2003); citado por Morin (2010).

El almidón tiene gran importancia a nivel industrial frente a los demás biopolímeros en la producción de envases biodegradables ya que permite obtener películas continuas, homogéneas, inodoras e incoloras y con muy baja permeabilidad al oxígeno (Dole *et al.*, 2004; Liu, 2005); es decir las películas de almidón se usan principalmente para disminuir el intercambio gaseoso entre el medio ambiente y el alimento (Krochta y Mulder-Johnston, 1997). Sin embargo, las películas de almidón presentan algunas desventajas como su fuerte carácter hidrófilo (sensibilidad al agua) y pobres propiedades mecánicas en comparación con polímeros sintéticos convencionales (Averous y Boquillon, 2004); puesto que en su estado nativo (estado natural o que no ha sufrido ningún tipo de modificación) presenta ciertos inconvenientes que limitan su aplicación a nivel industrial, estas limitaciones se deben a su baja resistencia al esfuerzo cortante, degradación térmica, alta retrogradación y sinéresis. (Bentancur, Chel y Canizares, 1997; Singh y Singh, 2005).

Ceron (2013), manifiesta que para disminuir los problemas provocados por el agua en los productos plásticos derivados de almidón, causados por la alta hidrofiliidad de este polímero, se han planteado diversas estrategias tales como la modificación química del almidón, la asociación del almidón con otros polímeros menos hidrofílicos y la modificación superficial de los productos finales.

## **ESTRUCTURA DEL ALMIDON**

Químicamente el almidón o fécula es un polisacárido homogéneo formado por la mezcla de dos polisacáridos diferentes: amilosa y amilopectina.

### **AMILOSA**

Es el producto de la condensación de D-glucopiranasas por medio de enlaces glucosídicos (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucano cuya unidad repetitiva es la a-maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilos están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen entre 17 – 25% de amilosa (Leon, Leszek, 2006).

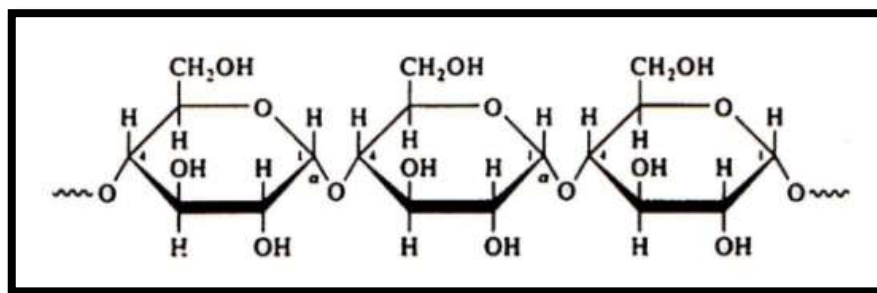


Figura 2.1. Molécula de Amilosa.  
Fuente: Todo es química. 2011.

## AMILOPECTINA

Es un polisacárido que se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol: las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 25-30 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75 a 83% en peso del almidón, (Leon, Leszek, 2006).

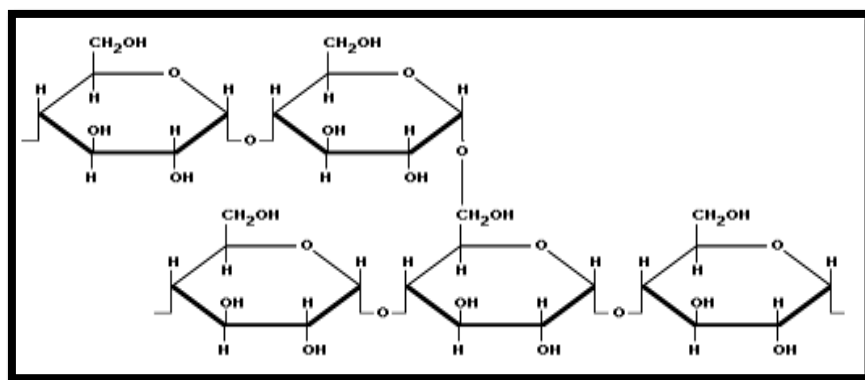


Figura 2.2. Molécula de Amilopectina.  
Fuente: Ángeles, 2015.

## CARACTERÍSTICAS

El almidón se presenta como polvo blanco fino, insípido, constituido por granos característicos microscópicamente. Es insoluble en agua fría; en agua caliente se hincha formando engrudo; se tiñe de azul a azul violeta con solución de lugol y da glucosa como producto final de la hidrólisis total (León, Leszek, 2009).

### 2.2.3 Almidón de Banano verde (*Musa paradisiaca*)

El almidón es el principal componente del banano, el cual tiene cambios importantes durante su maduración. El promedio del contenido de almidón cae de 70 a 80% durante el periodo de pre-climaterio a menos de 1% al final del periodo de climaterio, mientras que azúcares, principalmente sacarosa, acumula más de un 10% en el peso en base seca de la fruta. Los contenidos de azúcares solubles totales pueden alcanzar 16% o más en el peso en base seca de la fruta (80% en el contenido de humedad), indicando altas conversiones (Cordenunsi y Lajolo 1995). En esta hidrólisis del almidón participan principalmente las amilasas, pero probablemente estas no están relacionadas a la síntesis de sacarosa (Pingyi *et al.*, 2005).

La composición del banano cambia dramáticamente durante su maduración. Soto (198) clasificó la maduración del banano en 9 etapas de acuerdo a su color de cáscara.

<b>Etapas</b>	<b>Color de cáscara</b>	<b>Almidón (%)</b>	<b>Azúcares reductores (%)</b>	<b>Sacarosa (%)</b>	<b>Temp. de gelatinización (°C)</b>
<b>1</b>	Verde	61.7	0.2	1.2	74-81
<b>2</b>	Verde	58.6	1.3	6.0	75-80
<b>3</b>	Verde/traza de amarillo	42.4	10.8	18.4	77-81
<b>4</b>	Más verde que amarillo	39.8	11.5	21.4	75-78
<b>5</b>	Más amarillo que verde	37.6	12.4	27.9	76-81
<b>6</b>	Amarillo con puntas verdes	9.7	15.0	53.1	76-80
<b>7</b>	Amarillo	6.3	31.2	51.9	79-83
<b>8</b>	Amarillo/pocos puntos marrón	3.3	33.8	52.0	79-83
<b>9</b>	Amarillo/muchos puntos marrón	2.6	33.6	53.2	-

Tabla 2.2. Propiedades a diferentes etapas de maduración del banano verde.

Fuente: Bananos, cultivo y comercialización (Soto, 1985).

De acuerdo con Velásquez et al. 2010., la pulpa de banano (Grupo AAA 'Cavendish') proveniente de la zona de Urabá antioqueño posee un contenido de  $74.6 \pm 1.1\%$  de humedad y un contenido en base seca de almidón del  $53.2 \pm 1.1\%$ . Con respecto al contenido de amilosa en el almidón banano, reportes indican que se encuentra entre 15-40%. Para banano del grupo *Cavendish* (Kayisu y Hood, 1981) reportó un contenido de 16% en amilosa y Ling (1982) un contenido de 19.5%. Para el almidón de banano del grupo *Valery*, García (1988) reportó un contenido de 17% y Waliszewski (2003) de 40.7% para la amilosa. Por otro lado almidones de cereal, típicamente tienen contenidos de amilosa en un rango de 20–25%. El contenido de amilopectina reportado se encuentra con relación a las cadenas ramificadas de este polímero con respecto a la amilosa. Las ramificaciones características presentadas en la amilopectina de los almidones del banano tienen poblaciones de cadenas en una relación molar de 1:6 con respecto a la amilosa (Kayisu y Hood, 1981).

Por otro lado, existen varias especies vegetales que por décadas han sido las principales fuentes de almidón como el maíz, trigo, papa, yuca y arroz; según sea su origen cada almidón posee diversas características tanto físicas como químicas que son estudiadas y aprovechadas conforme su uso (Juárez, Evangelista, Rosales & Bello 2012). Asimismo, se han investigado nuevas fuentes de almidón que pueden ser potencialmente explotadas entre las cuales está el banano, ya que en su estado inmaduro presenta alrededor de 70% de almidón en base seca de pulpa (Flores, García, Flores, Nuñez, González & Bello 2004), representando así un excelente recurso para extraer dicho material.

Según varios autores (García *et al.* , 2011; Soto, 2010), el plátano verde contiene 79,60-81,03% de carbohidratos y 1,65% de fibra cruda; en banano verde se identificó un 87,83% de carbohidratos y 1,13% de fibra cruda; siendo el almidón el carbohidrato predominante.

Mientras que la harina de banano tiene una composición aproximada de 68,13% almidón total, 3,32% de proteína, 2,45% de lípidos y 1,65% de fibra cruda. En base a sus propiedades químicas (alto contenido de almidón) se lo considera un material promisorio importante para la elaboración de plásticos biodegradables. (Lazaridou y Biliaderis, 2002; López *et al.*, 2014).

## **2.2.4 Almidón de Yuca (*Manihot esculenta*)**

El alto contenido de almidón de la yuca (*Manihot esculenta*) y su mayor proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón, hace de este un importante cultivo industrial además de ser un cultivo alimenticio rico en calorías. El almidón de yuca es la segunda fuente de almidón en el mundo después del maíz, pero por delante de la papa y el trigo; se usa principalmente sin modificar, es decir como almidón nativo, pero también es usado modificado con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad a cambios de pH y temperatura, gelificación, dispersión y de esta manera poder usarlo en diferentes aplicaciones industriales que requieran ciertas propiedades particulares (Jorge y Pamplona, 2006). El rendimiento de la extracción estimado del almidón de yuca es de aproximadamente 57%, lo que indica que es efectivo (García y Sánchez, 2012).

Es un polisacárido natural, obtenido de la raíz de la yuca, extremadamente versátil y alcanza una eficiencia incomparable en todas sus aplicaciones entre ellas las películas biodegradables. El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo (dulce). El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le otorga propiedades deseables para los alimentos; el almidón nativo o dulce no es sometido a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria (Gontard, 1993).

En el granulo del almidón de yuca, su tamaño puede variar de 5  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ , su forma es entre redonda y achatada y su contenido de amilosa es alrededor del 17% (Frítz *et al.*, 1994). Una de las principales propiedades del almidón nativo es su semicristalinidad, donde la amilopectina es el componente dominante de la cristalización en la mayoría de los almidones. La porción cristalina está compuesta por estructuras de doble hélice formadas por puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo en las cadenas lineales de la molécula de amilopectina y por cadenas externas de amilopectina unidas con porciones de amilosa.

Morales (2014) reportó en el almidón de yuca un contenido de humedad (13.73%), cenizas (0.24%), extracto etéreo (0.17%) y carbohidratos (85.47%), similar al obtenido por Novelo-Cen y Bentacur- Acona (2005), quienes reportaron valores de 12.72%, 0.34%, 0.16% y 86.37%, respectivamente.

El almidón de yuca puede usarse en la producción de películas. Sin embargo, su aplicación requiere de mejoramiento de sus propiedades mecánicas y de barrera. Estos problemas pueden resolverse con la adición de plastificantes como el glicerol, pese a su hidrofilia y permeabilidad a los gases (Cholwasa, Duangdao y Kawee, 2013). Este inconveniente puede ser superado con la adición de quitosano, que provee propiedades de barrera y antimicrobianas (Devlieghere, Vermeulen y Debevere, 2004).

### 2.2.5 Quitosano

El quitosano es un polielectrolito catiónico que se obtiene de la quitina. La quitina es uno de los polímeros más abundantes que se extrae de crustáceos, insectos, hongos y microorganismos (Rinaudo, 2008; Tharanathan y Kittur, 2003).

Resulta un material muy interesante, ya que proviene de un residuo no aprovechable de la industria pesquera. La estructura del quitosano consiste en unidades de N- acetil-D-glucosamina unidas por enlaces  $\beta$ 1-4 glicosídicos, que imparten características similares a la celulosa. El quitosano es soluble en varios solventes ácidos (por ejemplo, en ácido acético), dando dispersiones viscosas y presentando propiedades antifúngicas (Zaritzky, 2007).

Se obtiene a partir de un proceso de desacetilación de la quitina (poli-(1,4)-2-acetamida-2-deoxi-P-D-glucosa) por métodos enzimáticos o químicos. La reacción se produce cuando el ion hidróxido del alcali, mediante un mecanismo de sustitución nucleofílica, hidroliza los grupos acetamida de la quitina (Rinaudo, 2008; Tharanathan y Kittur, 2003).

Se emplean en la industria biomédica, farmacológica, oftalmológica, cosmética y alimenticia (Tharanathan y Kittur, 2003; Ravi-Kumar, 2000). En la industria alimentaria, se ha empleado para la formación de películas biodegradables, la inmovilización de enzimas, la preservación de alimentos, como aditivo y en suplementos dietarios (Agullo, 2003).

En los últimos años el quitosano se convirtió en el aditivo de alimentos de origen biológico preferido, debido a sus propiedades antimicrobianas, a su abundancia en la naturaleza y a su capacidad para formar películas. Estas se distinguen de las obtenidas a partir de otros polisacáridos por ser transparentes, de buenas propiedades mecánicas y de barrera frente al O<sub>2</sub> (Parzanesse, 2012), puesto que muchas de las propiedades mecánicas del quitosano son comparables a las de los polímeros comerciales de mediana resistencia (Shahidi *et al.*, 1999).

Li *et al.* (1992), manifiestan en su investigación que tanto la composición de las cadenas de quitosano, como sus dimensiones, varían dependiendo de la materia prima (fuente de quitina) y del método de obtención. Por esta razón, el grado de desacetilación es un parámetro que se debe de conocer, para caracterizar una muestra de este polisacárido, ya que tiene incidencia en sus propiedades de formación de películas. Nishimura *et al.* (1991), manifiestan que el quitosano como película biodegradable constituye un excelente medio para el control de los cambios fisiológicos, morfológicos y fisicoquímicos de los alimentos.

Las películas formadas con quitosano tienen excelentes propiedades mecánicas que dependen en gran medida del peso molecular, de su grado de cristalinidad y del contenido de humedad de las mismas (Argüelles-Monal, 1989). Son delgadas, elásticas, resistentes, y tienen una excelente adhesión en diferentes tipos de superficies. Poseen valores medios o moderados de permeabilidad al agua y actúan como barrera al oxígeno, por lo tanto, disminuyen la velocidad de respiración (El-Ghaouth *et al.*, 1991a y b) y retardan el proceso de maduración por reducción en la evolución del etileno y dióxido de carbono (Muzzarelli y Zattoni, 1986). Un ejemplo de ello es el efecto sobre frutos de durazno, en los cuales se redujo la tasa de respiración representada en la producción de CO<sub>2</sub> y se mantuvo la firmeza de la fruta recubierta hasta el final de 12 días de almacenamiento a una temperatura de 23 °C (Li y Yu, 2000).

Estudios sugieren que el quitosano, en películas plastificadas o no, muestra actividad fúngica, lo cual hace posible el desarrollo de nuevos empaques activos con buenas propiedades térmicas. Factores como la temperatura de almacenamiento y las modificaciones de las propiedades mecánicas y de barrera influenciadas por aditivos y otros tipos de sustancias antimicrobianas pueden potenciar el efecto antimicrobial de las películas (Martínez-Camacho *et al.* 2010).

#### **2.2.6 Gel de Sábila (*Aloe vera*)**

Según Martínez *et al.*, (2007), mencionó que el gel de *Aloe vera* contiene dos fuentes líquidas principales: un látex amarillento (exudado) y un gel claro (mucílago). El látex amarillo está compuesto principalmente por derivados de antraquinonas (aloína y aloe emodina) y cromonas, que son componentes bioactivos en fuentes naturales, siendo la aloína el principal constituyente activo del *Aloe vera*, estos derivados se utilizan como antiinflamatorios y antibióticos, dentro de ellos podemos encontrar a Aloesin, también denominada Aloeresin B y el Aloeresin A.

Muchas de las actividades biológicas, incluyendo antiviral, antibacterial, han sido atribuidas al *Aloe Vera*, en particular a los polisacáridos presentes en él. Las antraquinonas como la Aloemodina en general actúan sobre los virus, lo que trae como resultado la prevención de la adsorción del virus y consecuentemente impedir su replicación (Vega *et al.*, 2010).

Es aplicable el uso de recubrimientos a base del gel de *Aloe vera*, rico en mucílagos, fuente de polisacáridos que comprenden ácidos galacturónicos, glucorónicos y unidos a azúcares como glucosa, galactosa y arabinosa; y compuestos fenólicos de gran poder antioxidante (Vega *et al.*, 2005).

Es así, que se han encontrado estudios en que el gel de *Aloe vera* puede generar entre cuatro y dos reducciones logarítmicas en el crecimiento de mohos como *Botrytis cinérea* (principal hongo infectante de la fresa) en concentraciones del gel a 250 mL/L (Saks y Barkai - Golan, 1995). De igual manera, el Alginato, polisacárido lineal de unidades 1,4 $\beta$ -D-manuronato (M) y 1,4 $\alpha$ -L-guluronato (L), puede formar hidrogeles a partir del entrecruzamiento de las cadenas en presencia de iones polivalentes como el calcio formando una red de polímero (Lencina *et al.*, 2012).

En muchas investigaciones se han formulado estos tipos de geles junto a otros compuestos, buscando las proporciones más efectivas para la formación de recubrimientos comestibles y así, extender la vida anaquel de los productos. Según Restrepo y Aritzabal (2010), el uso de cera de carnaúba y mucílago de *Aloe vera* como recubrimiento comestible en fresa, bajo temperatura de 5 °C  $\pm$  0.5 °C y 75%  $\pm$  0.5% de humedad relativa durante 10 días, mostró un efecto favorable frente a las pérdidas de humedad de siete y diez días, y un significativo mantenimiento de la firmeza del fruto hasta los 10 días.

En el ámbito de conservación, investigaciones recientes han demostrado que el *Aloe vera* puede prolongar la vida útil y mantener los atributos de calidad de los frutos cuando se utiliza como recubrimiento (Rojas Graü, 2006).

#### **2.2.7 Plastificante**

Los plastificantes se definen como sustancias de bajo peso molecular poco volátiles, que se emplean para aumentar la flexibilidad. Esto se debe a que interfieren en la asociación de las



cadenas de los biopolímeros, facilitando su deslizamiento, lo cual repercute en el aumento de la flexibilidad, lo que también puede llevar a una disminución de la resistencia mecánica (García *et al.*, 2000).

Su función en los materiales plásticos consiste en adaptar la flexibilidad y elasticidad a los requisitos de su utilización. Por lo general son materiales con bajo peso molecular, reducen la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).

Ciertos componentes se adicionaron en menores cantidades a las formulaciones de los recubrimientos para modificar las propiedades mecánicas; a estos compuestos se les clasifica como plastificantes o emulsificantes (Bósquez, 2005).

El tipo de plastificante y su concentración influyó el espesor de la película, densidad, contenido de humedad, solubilidad, la capacidad de hinchamiento y la absorción de agua (Sanyang *et al.*, 2015a); mejoró significativamente las propiedades de la película (Sanyang *et al.*, 2016a). Cuando se adicionó el plastificante, se restablecieron nuevas interacciones moleculares entre este y las cadenas poliméricas lo cual generó mayor movilidad y facilidad de vibración de los grupos hidroxilo (Arrieta y Palencia, 2016).

A nivel molecular, estos compuestos incrementaron la fracción volumen o movilidad molecular de polímeros, debilitaron las fuerzas intermoleculares entre las cadenas adyacentes del polímero, disminuyendo la fuerza tensora e incrementando simultáneamente la flexibilidad de la película (Sothornvit y Krotcha, 2005).

Los plastificantes se utilizaron porque ayudaron a modificar las propiedades del producto final. En el caso de las películas de almidón, el plastificante disminuyó la fragilidad y mejoró la flexibilidad de estas. Existen varios plastificantes utilizados en la obtención de películas de almidón pero el más utilizado es el glicerol (López *et al.*, 2012). En cuanto a los plastificantes; el glicerol y el sorbitol son los más ampliamente estudiados. Según Ozdemir y Floros (2009), la adición de sorbitol a una película comestible aumenta su porcentaje de elongación (Brandao y Peña, 2012).

Adicionalmente, el uso de un agente plastificante mejoró en gran medida la flexibilidad y elasticidad de películas comestibles (Dutta *et al.*, 2009). En términos estructurales, los plastificantes son insertados en la matriz polimérica, incrementando el espacio libre entre las cadenas y provocando una disminución de las fuerzas intermoleculares a lo largo de la matriz (Aguilar *et al.*, 2012).

### **2.2.8 Glicerina**

La glicerina es un líquido viscoso incoloro, inodoro, higroscópico y dulce. Los términos glicerina o glicerol son utilizados indistintamente para referirse al compuesto; sin embargo, el nombre oficial IUPAC es propan-1, 2, 3-triol. Es una estructura simple que está formada por una molécula de propano al que se unen por enlaces lipídicos tres grupos hidroxilos ( $\text{OH-}$ ); los cuales son los responsables de su solubilidad en el agua.

Es higroscópico (absorbe agua del aire); se funde a  $17.8^\circ\text{C}$ , su punto de ebullición con descomposición es a  $290^\circ\text{C}$ , y es miscible con agua y etanol. La glicerina puede ser quemada, sin embargo, su combustión debe ser realizada a temperaturas mayores a su punto de ebullición, de lo contrario puede emitir gases tóxicos (acrolina), los cuales se forman entre los  $200$  y  $300^\circ\text{C}$ . (Carballo y Martínez, 2010).

La glicerina se utiliza en la formulación de biopelículas por sus propiedades plastificantes, este proporcionó un buen comportamiento mecánico en términos de flexibilidad y resistencia a la rotura, reduciendo la fragilidad, esta sustancia es el plastificante más utilizado debido a su mayor estabilidad y compatibilidad con las cadenas biopoliméricas hidrófilas en comparación con el sorbitol, polietilenglicol y azúcares. El glicerol se asocia físicoquímicamente con la estructura del biopolímero reduciendo la cohesión e interfiriendo con la asociación de las cadenas poliméricas facilitando su deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad de la biopelícula (Abdollahi, Rezaei y Farzi, 2012).

Las películas biodegradables a base de biopolímeros no tienen muy buena flexibilidad comparada con los materiales sintéticos como los plásticos. Por esto, la adición de plastificantes a la matriz polimérica es indispensable para obtener una película con buenas propiedades mecánicas. El plastificante conjuntamente con el polímero debe formar una mezcla homogénea (Lazaridou y Biliaderis, 2002; Mali *et al.*, 2002); por lo general se usa polioles como: glicerol, sorbitol, y polietilenglicol, debido a que son los grupos hidroxilos de dichos compuestos los que brindan el efecto plastificante a las película biodegradables (Sothornvit y Krochta, 2005).

### **2.2.9 Solubilidad en las películas**

La solubilidad en agua es una propiedad importante respecto a la protección a los alimentos donde la actividad de agua del medio es alta o donde la película es sometida al contacto con agua durante el procesamiento de los alimentos empacados (Gontard, Guilbert y Cuq, 1992). Sin embargo, en algunos casos, la solubilidad en agua es requerida (Pérez-Gago y Krochta, 2001), como en algunos casos en que los productos deshidratados deban sufrir una hidratación previa a su consumo (sopas y arroz instantáneos, entre otros) (Monterrey - Quintero, 1998).

Morin (2010), sustenta que la solubilidad de las películas en agua está directamente relacionada con sus componentes, o sea, con la hidrofiliidad o hidrofobicidad de su estructura que puede ser causa por el almidón o quitosano respectivamente, esto quiere decir que a mayor porcentaje de estos componentes, mayor será la solubilidad en agua. Dos Reis *et al.* (2014) evidenciaron en su investigación que niveles más altos de almidón y glicerol aumentaron la solubilidad en agua de las películas, y la temperatura y el glicerol influenciaron positivamente la permeabilidad.

Zamudio-Flores (2008) manifiesta, cuando el tiempo de almacenamiento aumenta, el porcentaje de solubilidad disminuye debido a que al mayor tiempo de almacenamiento se presenta una re-organización de los componentes del almidón (amilosa y amilopectina) incrementando la cristalinidad de la película y consecuentemente disminuyendo la solubilidad.

Vanegas (2014) en la obtención de películas a partir de mezclas de quitosano de camarón y agente plastificante obtuvo valores de porcentaje de solubilidad entre 81.26 – 96.99%. Esto se debe a que estas películas no contienen almidón influenciando en la matriz de las películas.

Zamudio-Flores (2008) descubre que en las películas de plátano macho nativo y oxidado, la temperatura presentó un efecto significativo en el porcentaje de solubilidad (% S) debido a

que a la temperatura de 25 °C se determinaron valores menores que los obtenidos a 80 °C. Esto se debió al efecto de degradación térmica del almidón en la película con un incremento concomitante en la solubilidad del material. Diversos autores han reportado comportamientos similares en películas elaboradas con mezclas de almidón de maíz, quitosano y glicerol (García, Pinotti y Zaritzky, 2006b) y en películas realizadas con almidón de arroz plastificadas con glicerol, sorbitol y polietilenglicol (Laohakunjit y Noomhorm, 2004).

En el índice de solubilidad en agua (ISA) de las películas que contienen almidón de yuca, glicerol y quitosano, se pudo observar que, en términos generales, hubo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la concentración de los componentes de la película en la solubilidad de la misma. Al aumentar la concentración del almidón se generó una disminución en el ISA. La solubilidad en agua de las películas es un factor importante para evaluar su biodegradabilidad debido a que a mayor solubilidad los polímeros son más susceptibles a la degradación. (Sánchez, García y Pinzón, 2012), lo mismo se reportó en la investigación de Zamudio-Flores (2008).

## 2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Gelatinización:** es el proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-70°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles.

**Hidrólisis:** Descomposición de sustancias orgánicas por acción del agua.

**Gelificación:** La gelificación es el procedimiento mediante el cual se espesan y estabilizan soluciones líquidas, emulsiones y suspensiones, en los alimentos la gelificación de componentes cumple muchas funciones, particularmente en relación con la textura, la estabilidad y afectan en especial medida a las condiciones de procesado.

**Biodegradación:** Descomposición natural y no contaminante de una sustancia o producto por la acción de agentes biológicos.

## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1 Hipótesis General

- Los bioplásticos elaborados a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) tuvieron características aceptables.

### 2.4.2 Hipótesis Específicas

- La caracterización de los almidones utilizando como matriz el bioplástico, coincidieron con otros plásticos comerciales.
- Los bioplásticos obtenidos tuvieron características físico-mecánicas y óptimas.
- El proceso de biodegradación aeróbica y anaeróbica de las películas obtenidas dieron a lugar películas resistentes.
- Las películas formuladas con quitosano tuvieron mejores características físico-mecánicas y biodegradables.

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 ENFOQUE Y DISEÑO**

- El enfoque, cuantitativo y el diseño, experimental.

### **3.2 SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1 Población**

- Producción de banano y yuca en áreas agrícolas estratificadas de la Región de Piura. Zona del Empeñadero de Santa Cruz.

#### **3.2.2 Muestra**

- La muestra estuvo constituida de 2kg por cada una de la población a usar en la presente investigación.

#### **3.2.3 Muestreo**

- Se aplicó un muestreo dirigido bajo los siguientes criterios: ambos fueron de segunda o tercera categoría, presentaron daños mecánicos o magulladuras no tan pronunciadas, incluyó deformidad, exentas de olores extraños.

### **3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

#### **3.3.1 Pruebas Preliminares**

Se experimentaron pruebas preliminares en la formulación y elaboración de distintas películas.

En cuanto a la concentración de almidón se observó que mientras menor sea su concentración, la película resulta ser más fina y quebradiza lo cual dificulta su desprendimiento del molde de acrílico, por ello se concluyó que se podría trabajar mejor con el 3% y 4% de almidón de yuca y banano verde.

La concentración de gel de sábila también fue tema de experimento, pues a mayor es su concentración, las películas no logran secarse con facilidad y permanecen gelatinosas dando resultados no favorables. Se probó concentraciones del 10%, 7% y 5% donde se apreció que mejores resultados tenían aquellas películas cuyas concentraciones fueron elaboradas al 5%.

Se formularon muchas películas a base de almidón cuyo resultado pocas veces fue positivo, pues su resultado fue películas quebradizas, es por ello que se tuvo que acondicionar de quitosano como un segundo polímero, las cuales mejoró notablemente su estructura facilitando su estudio.

Se determinó que las condiciones adecuadas de secado para las películas fueron a una temperatura de 50 °C.

### **3.3.2 Método de investigación**

Para la obtención de las biopelículas; el presente proyecto de investigación se dividió estructuralmente en cuatro etapas. Como primera etapa, se obtuvieron las materias primas, los cuales fueron materiales de segunda y tercera categoría tales como yuca, banano verde y sábila. Se les extrajo su almidón por el Método Húmedo y se necesitó de la sábila, su gel; la segunda, se caracterizó los almidones determinando su % de humedad, % de cenizas, % de lípidos y % de amilosa y amilopectina, de ambos almidones; la tercera etapa es la obtención de las películas biodegradables por el método *Casting* (vertido en placas) combinando el almidón como agente o base estructural, gel de sábila como un agente antifúngico, el quitosano y glicerina como plastificante; como cuarta y última etapa, se determinó las propiedades físico-mecánicas, y biodegradable de las películas obtenidas.

### **3.3.3 Procedimiento**

#### **3.3.3.1 Obtención de la Materia prima (Yuca y Banano verde)**

Se dispuso de 2 kg de cada una de la materia prima a usar, el cual se obtuvo de una parcela estratificada de la Región de Piura, zona del Empreñadero de Santa Cruz. Éstas tuvieron que tener como mínimo las siguientes características; principalmente ser de segunda o tercera categoría o clase, presentar daños superficiales, incluyó deformidad, asimismo estar libres de enfermedades que afecte directamente la pulpa y estar exentas de olores.

#### **3.3.3.2 Acondicionar la materia prima (descortezado y lavado)**

Se llevó a cabo en el Laboratorio de Agroindustrias de la Universidad Nacional de Piura.

Se tomó en cuenta el método propuesto Flores Gorosquera *et al.* 2004; Cabrera M. *et al.*, 2007.

- Para el descortezado se procedió a retirar la corteza, tanto de la yuca como del banano verde puesto que para el presente proyecto solo se necesitará de la pulpa.
- En el lavado de la yuca, una vez retirada la cáscara se procedió a lavar con abundante agua con una solución preparada de hipoclorito de sodio al 1% por 10 minutos para desinfectar la muestra, de tal manera que se eliminó de todo polvo y suciedad presente.
- En el lavado del banano verde, se diluyó ácido ascórbico al 2% en agua destilada y se sumergió la fruta previamente rebanada por un tiempo de 5 minutos, esto se hizo para ablandar la fruta y evitar la oxidación enzimático (oscurecimiento) de la fruta.

### **3.3.3.3 Extracción de almidón**

Se tomó como base el método propuesto por Bobbio *et al.*, 1978 y Rocha (2008) con algunas modificaciones. (Ver Anexo A).

- Luego de ser lavados, pelados y cortados, para la extracción de almidón se procedió a triturar en una licuadora a una máxima velocidad por un tiempo mínimo de 2 minutos. Se añadió bisulfito en una proporción respecto a la materia prima de 1:2 licuando así varias veces hasta conseguir una pasta fina.
- El producto que se obtiene es una mezcla de almidón, agua, proteínas, minerales, impurezas denominada lechada. Para retirar las impurezas se hará pasar la lechada una tela organza. El bagazo se lavará con abundante agua de tal manera que el líquido de salida no tenga residuo aparente de almidón.
- La solución obtenida fue colocada en baldes plásticos de 20lt de capacidad, para luego ser dejada en refrigeración por 24 horas para su sedimentación, éste es el caso del banano verde. Para la extracción del almidón de yuca se hizo el mismo procedimiento pero con la diferencia que no fue necesario colocarlo a refrigeración.
- Pasado el tiempo programado, se procedió a retirar el sobrenadante de cada uno de los almidones en extracción. De inmediato, se agregó agua destilada y se dejó un día más, éste proceso fue realizado otras dos veces.
- Posteriormente se agregó alcohol al 96% para la purificación del almidón, dejándolo decantar de nuevo por un día más bajo refrigeración, este paso fue realizado dos veces.
- Se retiró el alcohol, dejando solo el almidón.
- El almidón fue colocado en placas petri de vidrio para luego ser llevado a la estufa a una temperatura de 55 a 60°C por 24 horas.
- Para finalizar con la extracción de ambos almidones; se retiró de la estufa, se pesó para constatar su rendimiento y se colocó en una licuadora para ser molido y obtener partículas más pequeñas. Se empacó en bolsas de polietileno.

### **3.3.3.4 Caracterización físico-química de los almidones**

Se tomó en cuenta la metodología de Méndez (2010) para la identificación de almidón, Hoover y Ratnayake (2001) para la identificación de amilosa y amilopectina y la metodología seguida de AOAC citada por Silva y De Queiroz (2002) para la determinación de lípidos y cenizas; también, se empleó el método de la termobalanza para determinar el porcentaje de humedad presente en los almidones. Por otra parte, la relación de amilosa/amilopectina se determinó por espectrofotometría según la metodología obtenida en ISO (1987) y Robles (2012).

#### 3.3.3.4.1 Identificación de almidón

Se identificó el almidón de yuca y banano verde bajo el método descrito por Méndez (2010). Se tomó en cuenta el siguiente procedimiento. (Ver Anexo B).

- Se pesó 1gr de almidón y se suspendió en un vaso precipitado que contenía 50ml de agua destilada, seguidamente se colocó el vaso precipitado que contenía la muestra, en un agitador magnético junto con un imán, donde se hirvió por 1 minuto y se dejó enfriar.
- Con una pipeta de extrajo 1ml del mucílago obtenida de la prueba anterior y se vació en un tubo de ensayo, seguidamente se adhirió 0.02ml de solución de Lugol a través de una pipeta digital. Cambió de un color rojo-naranja a un color azul oscuro el cuál fue desapareciendo en calentamiento.

#### 3.3.3.4.2 Identificación de Amilosa y Amilopectina

Se pesaron 0.1g de muestra y se colocó en un matraz volumétrico de 100 ml. Se agregó al matraz 1 ml de etanol al 95 % (v/v) y 9 ml de hidróxido de sodio 1N. Se dejó a 20°C en incubación entre 18 a 24 horas, posteriormente se aforó en una fiola a 100 ml con agua destilada.

En otro frasco volumétrico de 100 ml conteniendo 50 ml de agua destilada se agregó una alícuota de 5 ml de la preparación inicial, 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo al 2 %, se mezcló y completó a volumen con agua destilada.

Al finalizar, se almacenaron los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos para leer la densidad óptica en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm. (Ver Anexo C) Se utilizó la curva de calibración descrita por HOOVER Y RATNAYAKE (2001), que se encuentra en el ANEXO 1 para determinar la ecuación de regresión y esta ecuación para calcular el contenido de amilosa de cada muestra.

Donde  $x$  = % de amilosa e  $y$  = absorbancia a 620 nm.

$$y = 0.0168x + 0.2138 \quad R^2 = 0.9998$$

$$\% x = \frac{y - 0.2138}{0.0168} \dots (1)$$

$$\% \text{ Amilosa} = \frac{\text{Absorbancia} - 0.2138}{0.0168} \dots (2)$$

El contenido de amilopectina se obtuvo a partir de la diferencia (100%) con el contenido de amilosa del contenido de almidón, lo que permitió la obtención de la relación amilosa/amilopectina, a partir de la división de ambos contenidos.

$$\% \text{ Amilopectina} = 100 \% - \% \text{ Amilosa} \dots (3)$$

#### 3.3.3.4.3 Determinación de Lípidos

Se identificó el contenido de lípidos bajo el método descrito por Silva y De Queiroz (2002). Se tomó en cuenta el siguiente procedimiento:

Los almidones fueron pesados por duplicada en una balanza analítica. Se pesó 2 gr aproximadamente de cada muestra y se colocó en un papel filtro Whatman N°1 envolviéndolo en forma de cartucho, para luego ser introducida en el extractor Soxhlet respectivamente en cada balón de fondo plano.

Posteriormente los balones de fondo plano fueron pesados y en cada uno de ellos se adicionó 150 ml de hexano. Seguidamente fueron conectados al extractor y al condensador, los cuales fueron colocados en los calentadores. Se calentó cada muestra por un periodo de 5 horas, una vez transcurrido este periodo lo que quedo de hexano fue retirado de los balones por destilación. Posteriormente se secaron los balones en una estufa por 24 horas a 105°C, luego se colocaron en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente y finalmente se pesaron para determinar la cantidad de grasa (lípidos) obtenida en cada muestra. (Ver Anexo D)

El contenido de lípidos fue calculado por la ecuación 04:

$$\% \text{ Lípidos} = \left( \frac{\text{Peso del balón con la muestra seca} - \text{Peso del balón vacío}}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \right) \times 100 \quad \dots (4)$$

#### 3.3.3.4.4 Determinación de Humedad por el método rápido de Termobalanza

Se identificó el contenido de humedad bajo el método de la termobalanza. Se tomó en cuenta el siguiente procedimiento. (Ver Anexo E)

- Se determinó 5gr de la muestra pesada en la misma balanza y se distribuyó cuidadosamente y uniformemente en el platillo.
- Con la fuente de potencia debidamente ajustada, se bajó la tapa de la balanza. La muestra comenzó a perder humedad.
- Después de pasado unos minutos, el equipo se apagó automáticamente, dando fin a la humedad presente en dichas muestras.
- Se procedió a tomar la lectura donde se registró como porcentaje total de humedad.

#### 3.3.3.4.5 Determinación de Cenizas

Las muestras obtenidas en la determinación de humedad fueron empleadas para determinar las cenizas, por lo que se colocó en crisoles previamente pesados solos y con la muestra para luego ser llevados a una mufla, en la cual se incineraron las muestras a una temperatura de



550°C por 3 horas. Posteriormente fueron retiradas de la mufla y finalmente pesadas para la determinación de cenizas por diferenciación. (Ver Anexo F).

El contenido de cenizas fue calculada por la ecuación 05:

$$\% \text{ Cenizas} = 1 - \left( \frac{\text{Peso del crisol con la muestra seca} - \text{Peso después del secado}}{\text{Peso de la muestra}} \right) \times 100 \quad \dots (5)$$

### 3.3.3.5 Extracción de gel de sábila.

Las pencas fueron extraídas del jardín de la Universidad Nacional de Tumbes, estas pencas fueron puestas en un recipiente limpio con agua destilada, donde se puso en remojo toda una noche para eliminar el exceso de iodo en ellas.

Se tomó como base el método propuesto por Rodríguez *et al.* 2005. (Ver Anexo G).

- Para la extracción del gel de sábila (*Aloe vera*), las pencas fueron lavadas con abundante agua destilada y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio de 2%.
- Acto seguido, se retiró las espinas de los laterales y se troceó en cuadros para ponerlos en remojo.
- Al día siguiente se retiró una parte del parénquima del tejido interno y se procedió a raspar con una espátula hasta obtener el gel de sábila.
- Finalmente, el producto obtenido fue filtrado por una tela organza para liberar de toda impureza y grumos.

### 3.3.3.6 Disolución del Ácido Acético al 1% (v/v)

La metodología empleada fue la de Zevallos (2016).

Se midió con una pipeta 10ml de ácido acético y se depositó en una fiola con capacidad de 1000ml, seguidamente se llenó con agua destilada hasta llegar al menisco. Se agitó para lograr una mejor homogenización.

### 3.3.3.7 Preparación del Quitosano al 1% (p/v)

La metodología empleada fue la de Zevallos (2016). Por acción de hidrólisis.

- Para esta etapa se utilizó 1000 ml de ácido acético diluido en agua destilada, lo cual significa que se pesó 1gr de quitosano.
- Para ello, se utilizó un vaso precipitado de 1000cc de capacidad, donde se vertió 1000ml de ácido acético previamente diluido, para lo cual fue de uso un agitador magnético con una pastilla de imán.

- Posteriormente, se añadió de a pocos el quitosano y se dejó homogenizar por aproximadamente 2 horas a una temperatura de 60 a 65 °C a 1000 rpm de velocidad.

### 3.3.3.8 Preparación de la Glicerina

- Se empleó del 1.5% de glicerina al 85% de concentración, donde se diluyó en 500ml de agua destilada.

### 3.3.3.9 Preparación de las Biopelículas

Se elaboraron las películas por el método de *Casting* (vertido en placa/ gelatinización térmica) tomando en cuenta la metodología de Mathew, Brahmakumar y Abraham (2006) y Navarro (2016).

Se prepararon soluciones acuosas de almidón con concentraciones al 3% y 4% (p/v) con agua destilada, agitando la solución a temperatura ambiente por 30 minutos en un agitador magnético con una pastilla de imán, transcurrido ese tiempo fueron calentados hasta 80°C con agitación constante hasta su gelatinización completa, esto es hasta aproximadamente 60 minutos de agitación.

Se procedió a homogenizar con ayuda de un agitador magnético, y con vaso precipitado de 250cc a una temperatura de 50 °C a 1000rpm de velocidad.

Como primer paso, para los primeros tres tratamientos, se mezcló el almidón con concentraciones de 3 y 4% p/v (concentraciones por separado) con glicerina al 1.5% (p/v) durante 30 minutos, luego se adicionó el gel de sábila al 5% donde se dejó homogenizar por 30 minutos más.

Para los 2 últimos tratamientos, adicional a lo anterior se suma el quitosano. El orden de homogenización es, almidón, quitosano, glicerina y gel de sábila. El tiempo de homogenización es de 30 minutos cada vez que se adiciona una solución.

La siguiente tabla nos muestra la cantidad de cada solución expresada en mililitros (ml) para los tratamientos en estudio, se preparó 100ml de cada uno de ellos. (Ver Anexo H).

TRAT.	COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS
1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5%+ 10ml Glicerina al 1.5%
2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%
3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%
4	40ml Quitosano al 1% + 40ml Almidón + 10ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%
5	50ml Quitosano al 1% + 30ml Almidón + 10ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%

Tabla 3.1. Composición de las películas de Almidón de Banano verde y Yuca al 3% y 4%.

Todos los tratamientos preparados anteriormente se filtraron con una tela organza para eliminar las impurezas.

Posteriormente se sonicó cada mezcla homogénea por 20 minutos y se dispersó sobre moldes de acrílicos cuadrados, debidamente estériles, seguidamente se secaron en una estufa a 60°C durante 15 horas.

Transcurrido este tiempo, se extrajeron de los moldes y cada película fue guardada en papel adhesivo.

### **3.3.4 Evaluación de las biopelículas**

Las propiedades físicas, tales como la medición del espesor a través de un micrómetro, determinación de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua, se midieron en la Universidad Nacional de Tumbes en el Laboratorio Forestal; las propiedades mecánicas para medir el Esfuerzo de tracción o tensión de corte y % de Elongación de las películas en estudio, se determinó en el Laboratorio Agroindustrial en la Universidad Nacional de Piura, y por último las propiedades de biodegradación aeróbicas y anaeróbicas se determinó en el vivero de la Universidad Nacional de Tumbes.

#### **3.3.4.1 Propiedades Físicas**

##### **3.3.4.1.1 Medición del Espesor**

El espesor de las películas se midió utilizando un micrómetro manual de 0.001mm de sensibilidad, donde se determinó de manera aleatoria 10 puntos en lugares al azar de cada film. (Cao *et al.* 2007). (Ver Anexo I).

##### **3.3.4.1.2 Determinación de Humedad**

Para el cálculo de la humedad se aplicó la metodología utilizada por Vanegas (2014), donde establece el corte de las películas en láminas de 2 x 2 cm. Estas muestras se pesaron en una balanza analítica con margen de error de 0.0001 g y se colocaron en placas petri. Se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Pasado el tiempo establecido, se volvió a pesar cada muestra. (Ver Anexo J). Se aplicó la siguiente ecuación.

$$\%Humedad = \left( \frac{Peso\ inicial\ del\ film - Peso\ final\ del\ film}{Peso\ inicial\ del\ film} \right) \times 100 \quad \dots \quad (6)$$

##### **3.3.4.1.3 Determinación de Solubilidad**

Para la determinación de este ensayo se aplicó la metodología utilizada por Vanegas (2014) con algunas variantes. Se cortaron las películas en dimensiones de 2 x 2 cm, se pesaron en una balanza analítica con un margen de error de 0.0001 g.

Por otra parte en un vaso precipitado de 100cc se adicionó 80ml de agua destilada donde se procedió a sumergir las películas previamente pesadas en un agitador magnético múltiple a una agitación constante a 200 - 300 rpm. Se tendrá cuidado en que la película se mantengan inmersa durante 30 minutos a temperatura ambiente.

Para finalizar, la muestra se filtró y se colocó en placas petri para luego ser secadas a 105 °C durante 24 horas. Pasado el tiempo establecido, se volvió a pesar cada muestra. (Ver Anexo K). Se calculará el porcentaje de solubilidad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left( \frac{\text{Peso inicial del film} - \text{Peso final del film}}{\text{Peso inicial del film}} \right) \times 100 \quad \dots \quad (7)$$

#### 3.3.4.1.4 Determinación de la Permeabilidad al Vapor de Agua

Para la determinación de la permeabilidad del vapor de agua, se tomó como referencia la norma ASTM E96M/E96-05 con ciertas modificaciones recomendadas.

Se empleó el método desecante, el cual utiliza sílica gel previamente activada a 200°C por 4 horas. Posterior a ello, se llenaron los tubos de ensayo de 10cm de altura y 13mm de diámetro con desecante hasta ¼ pulgadas (6 mm) antes del borde, dejando este espacio libre para mezclar delicadamente la sílica gel durante cada pesado.

Las películas se cortaron en cuadrados de 2.5 cm<sup>2</sup> para cada muestra, luego se colocaron en la boca del tubo de ensayo sellándolos herméticamente con bandas de parafilm, los espacios sobrantes de la película se sellaron con papel aluminio y un pedazo de cinta scotch para ser ajustado y evitando así el paso de la luz. Colocar o guardar en una gradilla.

Una vez sellados los tubos, fueron pesados y luego colocados en un desecador equilibrado con un ambiente de una HR 60 - 65% que se obtuvo colocando una solución saturada de Cloruro de sodio (NaCl) y una temperatura de 26 - 29°C. Se esperó 1 hora hasta que las muestras lleguen al equilibrio. Las muestras fueron pesadas los dos primeros días cada hora, el tercer y cuarto día cada 2 horas y para concluir se tomó un peso diario, es decir, cada 24 horas exactas.

Los cambios de peso fueron registrados en función del tiempo con una tendencia lineal cuya pendiente en unidades de (g/h) representa la cantidad de vapor transmitido por unidad de tiempo.

El análisis se concluyó antes que el desecante excediera el 4% del peso inicial. (Ver Anexo L). Los resultados de la permeabilidad al vapor de agua se calcularon con la siguiente ecuación:

- Cálculo del índice de transferencia al vapor de agua:

$$WVT = dm/dt \times \frac{1}{A} \quad \dots \quad (8)$$

Donde:

WVT = Índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua.

dm/dt = Diferencia de masa a través del tiempo.

A = Área de la película expuesta (m<sup>2</sup>).

- Cálculo de Permeanza:

$$\text{Permeanza} = \frac{WVT}{S \times (R1 - R2)} \dots (9)$$

Donde:

S = Presión de vapor de saturación a la temperatura experimental (Pa).

R1 = Humedad relativa de la cámara, en fracción.

R2 = Humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción.

- Cálculo de permeabilidad al vapor de agua:

$$WVP = P \times G \dots (10)$$

Donde:

WVP = Permeabilidad al vapor de agua (gmm/hPam<sup>2</sup>).

P = Permeanza (g/hPam<sup>2</sup>).

G = Grosor (mm).

### **3.3.4.2 Propiedades Mecánicas**

Para el estudio de las propiedades mecánicas como el Esfuerzo de Tracción en el Corte (ETC, N/mm<sup>2</sup>) y el porcentaje de Elongación o Alargamiento (%E), fueron realizadas de acuerdo a la Norma ASTM D882 (2000). El equipo empleado en los ensayos mecánicos fue un Analizador de Textura TA.XTplus. Y se realizó en la Universidad nacional de Piura en el laboratorio de Agroindustrias.

#### **3.3.4.2.1 Esfuerzo de Tracción de Corte y Elongación**

Las pruebas se realizaron por triplicado para cada formulación, para ello se cortaron muestras de películas en forma rectangular con medidas de 10 cm de largo por 2.5 cm de ancho. Una vez determinado el espesor promedio de cada uno de los rectángulos de las películas, se procedió a colocarlas entre las pinzas de sujeción del equipo. La separación entre las pinzas fue de 7 cm. Muestras uniformes de película se montaron sobre las pinzas de tensión del texturómetro para ser agarradas y luego estiradas a 50 mm a una velocidad de 0.10 mm/seg hasta la ruptura. (Ver Anexo M).

El cálculo del Esfuerzo de tensión o tracción máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) se obtuvo con las siguientes formulas:

$$AT = A \times E \quad \dots \quad (11)$$

Donde:

AT= Área transversal (mm<sup>2</sup>)

A= Ancho (mm)

E= Espesor (mm)

$$ETC = FR/AT \quad \dots \quad (12)$$

Donde:

ETC = Esfuerzo de tracción en el corte (N/mm<sup>2</sup>)

FR = Fuerza de rotura (N)

AT = Área transversal (mm<sup>2</sup>)

El cálculo del porcentaje de Elongación o Alargamiento relativa máxima se obtuvo con la siguiente formulas:

$$E(\%) = (DAC/LM) \times 100 \quad \dots \quad (13)$$

Donde:

% E = Elongación (%)

DAC= Distancia de alargamiento hasta el corte (mm)

LM= Longitud de muestra (mm)

### **3.3.4.3 Propiedades de biodegradación**

Estas pruebas se realizaron basada en la metodología propuesta por Rutiaga (2002). La biodegradabilidad se evaluó por el método gravimétrico, se consideró un tiempo de exposición de 20 días, y se evaluó la pérdida de peso cada dos días en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. El suelo utilizado para esta prueba fue el del Vivero de la Universidad Nacional de Tumbes. No se tomó ninguna consideración en especial para definir el tipo de suelo a utilizarse. (Ver Anexo N).

#### **- Determinación de la biodegradabilidad Aeróbica en Suelo (2cm)**

Se cortaron 3 cuadros de 2 x 2 cm para cada uno de los bioplásticos a evaluar. Se registró el peso inicial de cada cuadro, para luego formar grupos de tres repeticiones por cada una de las películas.

Los cuadros se colocaron en hoyos en la tierra a una profundidad de 2 cm, con divisiones de cartones como celdas, para evitar una posible confusión a la hora de retirar las muestras.

Una vez posicionados en orden se entierran hasta el próximo día de la evaluación, así hasta llegar al día 20.

La fórmula que se usó fue:

$$\%P\acute{e}rdida\ de\ peso = \left( \frac{Peso\ inicial\ del\ film - Peso\ final\ del\ film}{Peso\ inicial\ del\ film} \right) \times 100 \quad \dots \quad (14)$$

#### - **Determinación de la biodegradabilidad Anaeróbica en Suelo (12cm)**

Se cortaron 3 cuadros de 2 x 2 cm para cada uno de los bioplásticos a evaluar. Se registró el peso inicial de cada cuadro, para luego formar grupos de tres repeticiones por cada una de las películas.

Los cuadros se colocaron en hoyos en la tierra a una profundidad de 12 cm, con divisiones de cartones como celdas, para evitar una posible confusión a la hora de retirar las muestras. Una vez posicionados en orden se entierran hasta el próximo día de la evaluación., así hasta llegar al día 20.

La fórmula que se usó fue:

$$\%P\acute{e}rdida\ de\ peso = \left( \frac{Peso\ inicial\ del\ film - Peso\ final\ del\ film}{Peso\ inicial\ del\ film} \right) \times 100 \quad \dots \quad (15)$$

### **3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

Se realizó un muestreo simple, el cual se fue estudiando y comparando las características de cada película y la variabilidad el tiempo de vida del producto por ser un producto biodegradable, la misma que fue monitoreado para observar los cambios durante su estudio. Este estudio se elaboró en el laboratorio de la Universidad Nacional de Piura y la Universidad Nacional de Tumbes en el cual se formularon las películas.

Se dispuso de un formato no complejo en excel, que fue nuestro instrumento de medición, en él se anotó sus valores de cada análisis que se le aplicó a las películas. Esto se llevó a cabo desde inicio a fin de cada prueba al pasar los días. Por consiguiente, se monitoreó cada característica y cambios de cada película, donde se registró parámetros de espesor, permeabilidad al vapor de agua, biodegradabilidad al suelo, observaciones, entre otros. (Ver Anexos 2 y 3).

### **3.4 ASPECTOS ÉTICOS**

El presente trabajo de investigación busca presentar una alternativa que reduzca la contaminación del medio ambiente, aprovechando de esta forma los materiales que nos brinda la naturaleza.

Es por ello que con la elaboración de dicho plástico biodegradable ayudaríamos no solo a sustituir al plástico sino que también no se contaminaría más los océanos, ríos, lagos y además que sería una fuente de alimentación para la flora por su rápida degradación.

Otro aspecto muy importante a mencionar es que esta biopelícula no emana de gases tóxicos lo que significa que no habría índices altos de toxicidad.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN

Los almidones obtenidos a partir de yuca y de banano verde reaccionaron positivamente al estar en contacto con el indicador de solución de Lugol, las cuales en un primer momento se produjo un color rojo – naranja para luego pasar a un color azul oscuro, ello desapareció en calentamiento.

Esta reacción es el resultado de la formación de cadenas de poliyoduro a partir de la reacción del almidón con el yodo presente en la solución del reactivo llamado Lugol. La amilopectina, el componente del almidón de cadena ramificada, forma hélices mucho más cortas, obteniéndose un color entre rojo y naranja. La amilosa, el componente del almidón de cadena lineal, forma hélices donde se juntan las moléculas de yodo, formando un color azul oscuro a negro.

Se pudo determinar la presencia de almidón en ambas muestras gracias a la reacción química usando el Lugol cuyo orden de tinción es amilopectina con un color rojo – naranja y luego la amilosa con un color azul oscuro. La presencia de ambos colores determinó que si se trata de almidón.

#### 4.1.2 IDENTIFICACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

La base para calcular la proporción del contenido de amilosa se basó en la formación del complejo amilosa - yodo dando lugar a un profundo color azul de las dispersiones de almidón teñido. El método para la determinación de amilosa nos permitió la obtención de porcentajes aproximados de la relación amilosa/amilopectina.

Los valores de absorbancia de la tabla, presentan una relación directamente proporcional al porcentaje de amilosa; es decir, un incremento en los valores de absorbancia refleja un aumento en el porcentaje de amilosa. Por diferencia se conoció el contenido de amilopectina.

Muestras	Absorbancia	Contenido de amilosa (%)	Contenido de amilopectina (%)
Almidón de Banano Verde	$0.557 \pm 0.006$	20.43	79.57
Almidón de Yuca	$0.455 \pm 0.001$	14.36	85.64

Tabla 4.1. Resultados del contenido de Amilosa y Amilopectina.



De acuerdo al contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos que son los almidones cerosos que contienen muy poca cantidad de amilosa, alrededor del 1%, los normales contienen entre 15 – 30% de amilosa y los altos en amilosa contienen 50% o más de este polímero (Cheftel,1976). Las muestras del almidón de banano verde y yuca está dado entre el 15 – 30%, la diferencia 70 – 85% corresponde a amilopectina, clasificándolas como almidones normales.

#### 4.1.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ALMIDONES

Los resultados del análisis químico de los dos almidones utilizados se describen en la siguiente tabla:

<b>Muestras</b>	<b>Humedad*</b> <b>%</b>	<b>Cenizas*</b> <b>%</b>	<b>Lípidos*</b> <b>%</b>
<b>Almidón de Banano verde</b>	15.61 ± 0.31	0.26 ± 0.05	0.43 ± 0.08
<b>Almidón de Yuca</b>	9.53 ± 0.11	0.07 ± 0.04	0.39 ± 0.11

\*Todos los resultados son promedio de dos determinaciones.  
Media ± Desviación estándar.

Tabla 4.2. Composición químico de los almidones.

Al analizar los resultados de los dos tipos de almidones obtenidos, se puede observar que coincidentemente a mayor contenido de humedad presente en el almidón, mayor es el porcentaje de cenizas.

El almidón de banano verde obtuvo el mayor porcentaje de humedad (15.61% ± 0.31). La desventaja al ser un almidón muy húmedo se atribuye principalmente al carácter altamente hidrófilo de los polímeros de almidón de banano verde. El contenido de cenizas de éste almidón fue mayor (0.26 ± 0.05) en comparación con el almidón de yuca.

El porcentaje de lípidos, con un valor mayor lo obtuvo el almidón de banano verde.

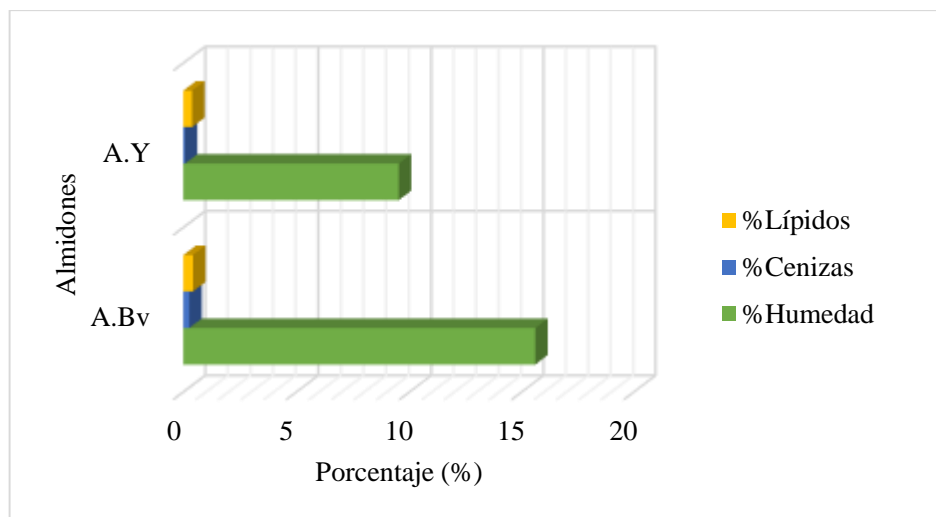


Gráfico 4.1. Resultado de la evaluación química de los almidones.

#### 4.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS

##### 4.1.4.1 ESPESOR

En el siguiente gráfico se puede observar que las películas elaboradas a partir de almidón de banano verde, el espesor asciende cuando la concentración de almidón es mayor; es decir, las películas elaboradas con el 3% de almidón es más delgada que el que fueron elaboradas con el 4% de almidón de banano verde.

A su vez, se puede apreciar en el gráfico que los tratamientos 1, 2 y 3 el espesor es mayor y esto se debe porque en la emulsión el contenido de almidón es de 70, 60 y 60% respectivamente (de 100%), con respecto a los demás componentes que forman la emulsión.

Los tratamientos 4 y 5, son los que contiene Quitosano – Almidón y el espesor es menor en el tratamiento 4 ya que en la emulsión el contenido de almidón es de 40%. Diferente resultado nos muestra el tratamiento 5 que nos indica en el gráfico que es un poco mayor su espesor, esto se debe porque, si bien es cierto el contenido de almidón es de 30% pero su contenido de quitosano es 50%, ello influye en el espesor por tratarse de otro polisacárido. Los valores de espesor de almidón de banano verde al 3% oscilan entre 0.099 y 0.068 $\mu\text{m}$ . Y los valores de espesor de almidón de banano verde al 4% oscilan entre 0.114 y 0.092 $\mu\text{m}$ .

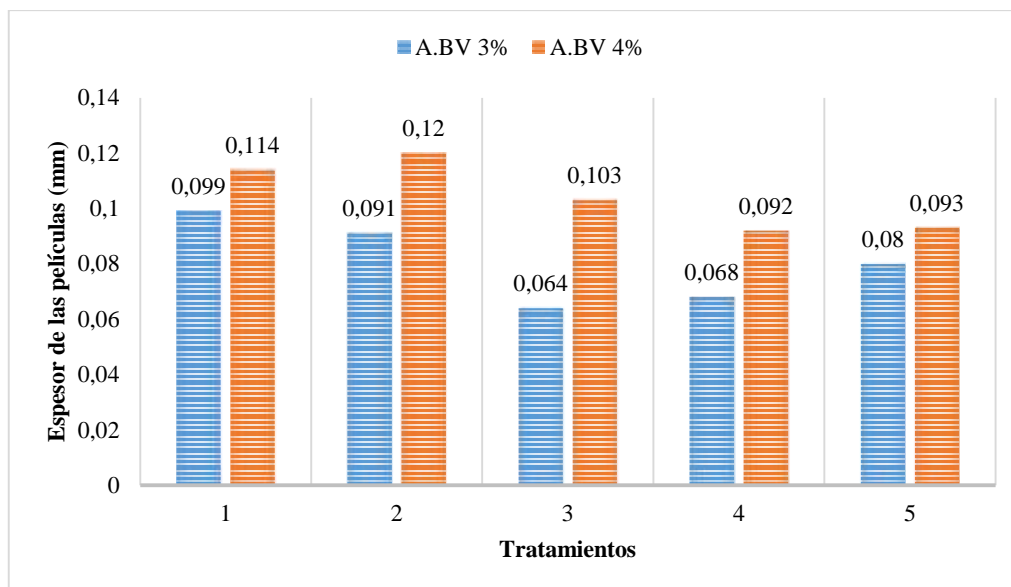


Gráfico 4.2. Espesor de películas que contienen almidón de banano verde.

En el siguiente gráfico se puede observar que las películas elaboradas a partir de almidón de yuca, el espesor asciende cuando la concentración de almidón es mayor; es decir, las películas elaboradas con el 3% de almidón es más delgada que el que fueron elaboradas con el 4% de almidón de yuca.

A su vez, se puede apreciar en el gráfico que los tratamientos 1, 2 y 3 el espesor es mayor y esto se debe porque en la emulsión el contenido de almidón es de 70, 60 y 60% respectivamente (de 100%), con respecto a los demás componentes que forman la emulsión.

Los tratamientos 4 y 5, son los que contiene Quitosano – Almidón y el espesor es menor en el tratamiento 4 ya que en la emulsión el contenido de almidón es de 40%. Diferente resultado nos muestra el tratamiento 5 que nos indica en el gráfico que es un poco mayor su espesor, esto se debe porque, si bien es cierto el contenido de almidón es de 30% pero su contenido de quitosano es 50%, ello influye en el espesor por tratarse de otro polisacárido.

Los valores de espesor de almidón de yuca al 3% oscilan entre 0.097 y 0.070 $\mu$ m. Y los valores de espesor de almidón de yuca al 4% oscilan entre 0.103 y 0.082 $\mu$ m.

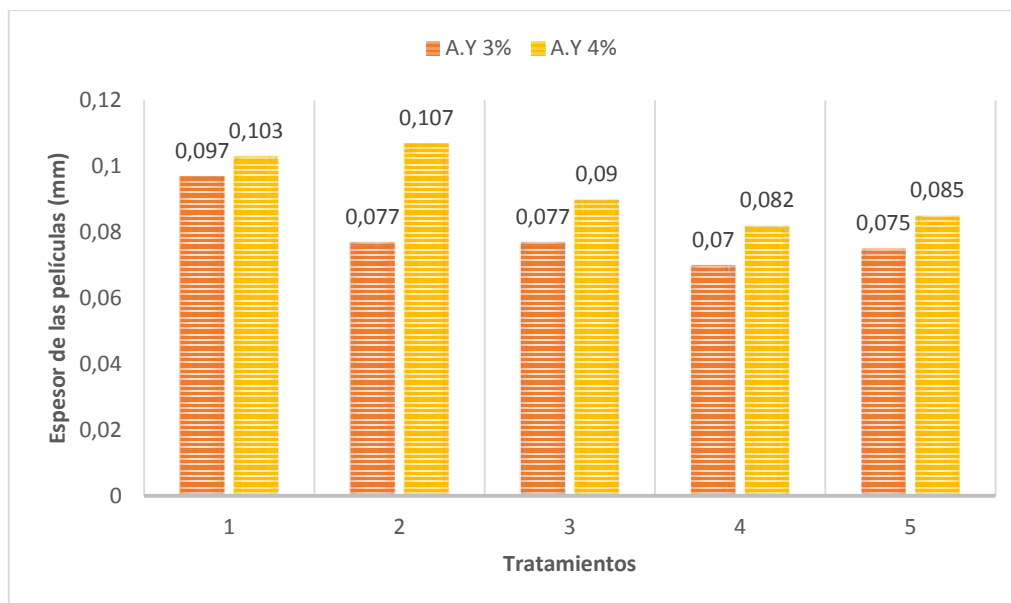


Gráfico 4.3. Espesor de películas que contienen almidón de yuca.

Para finalizar, se pudo observar que el tipo de almidón no influye en el espesor sino que la cantidad de algún polisacárido que se le adicione a la emulsión.

#### 4.1.4.2 HUMEDAD

Se registraron valores de contenido de humedad más alto en las películas cuya concentración de almidón de banano verde es de 3%, con excepción del tratamiento 1, que su diferencia en ambas es mínima; y bajas en las películas cuya concentración de almidón es de 4%.

El T2 de la película que contiene el 3% de almidón de banano verde registra el mayor porcentaje de humedad con 4.79% y T3 registró menor porcentaje de humedad con 2.8%.

El T4 de la película que contiene el 4% de almidón de banano verde registra el mayor porcentaje de humedad con 3.63% y T3 registró menor porcentaje de humedad con 1.37%.

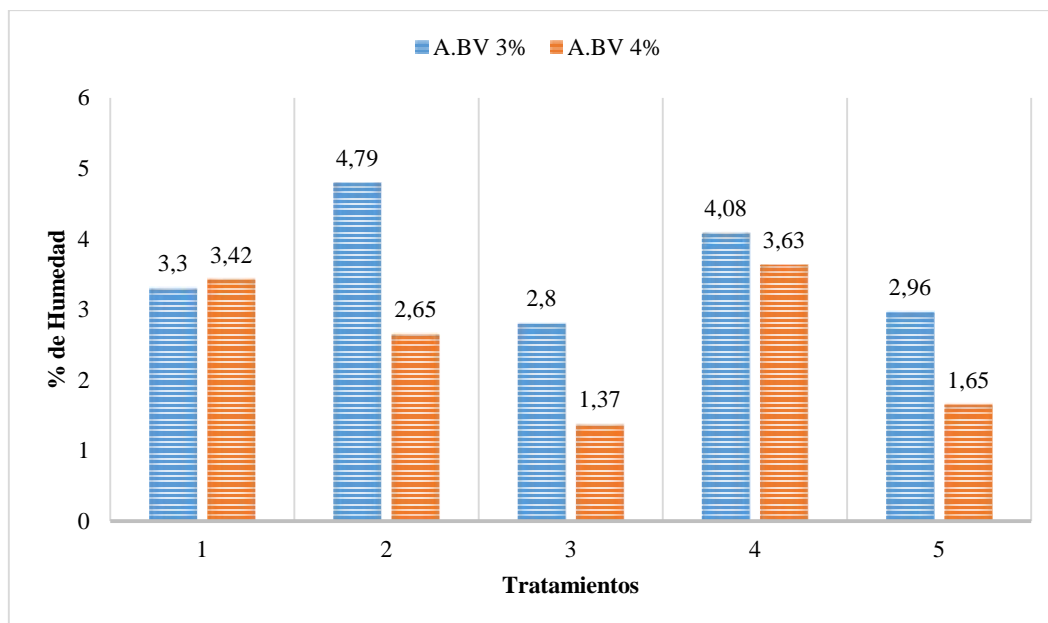


Gráfico 4.4. Humedad (%) de las películas que contienen almidón de banano verde.

Se registraron valores de contenido de humedad más alto en las películas T4 y T5, que son los tratamientos que contienen quitosano, en las láminas de almidón de yuca al 4%.

El T5 de la película que contiene el 3% de almidón de yuca registra el mayor porcentaje de humedad con 2,47% y T4 registró menor porcentaje de humedad con 0,51%.

El T5 de la película que contiene el 4% de almidón de yuca registra el mayor porcentaje de humedad con 5,31% y T1 registró menor porcentaje de humedad con 0,54%.

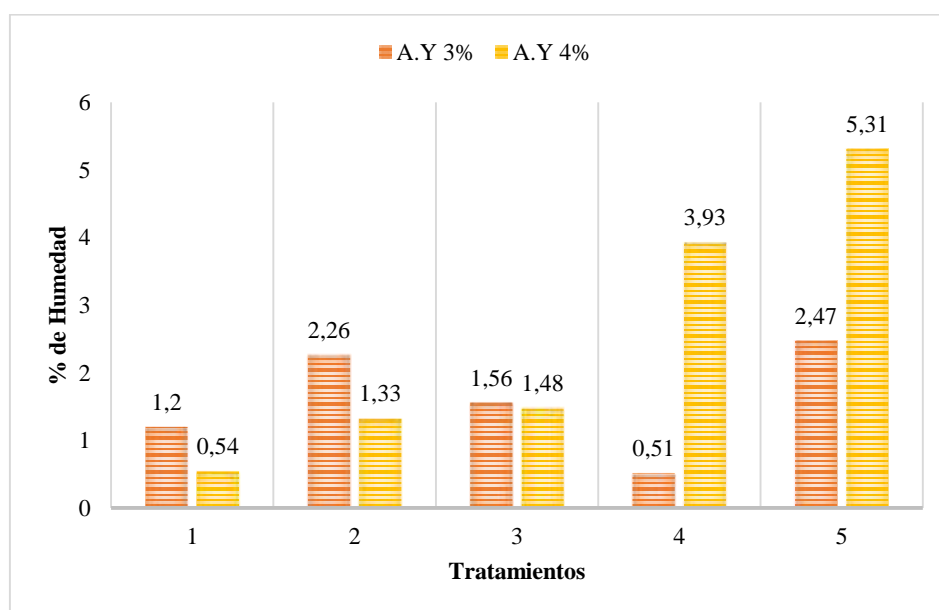


Gráfico 4.5. Humedad (%) de las películas que contienen almidón de yuca.

#### 4.1.4.2.1 Análisis Estadístico

➤ Análisis de Varianza para la humedad de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	8.311506667	4	2.077876667	4.89734142	3.478049691	0.019002884
Error	4.242866667	10	0.424286667			
Total	12.55437333	14				

Tabla 4.3. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de banano verde al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la humedad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la humedad de películas de almidón de banano verde al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Humedad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	4.79	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	4.08	ab
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	3.30	ab
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.96	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	2.80	b

Tabla 4.4. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de banano verde al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T5 ocupando el primer orden con humedad promedio de 4.79%, 4.08% y 3.30% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente al tratamiento T2 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T1, T5 y T3, ocupando estos el segundo orden.

➤ Análisis de Varianza para la humedad de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	12.40493333	4	3.101233333	10.12812976	3.478049691	0.001523545
Error	3.062	10	0.3062			
Total	15.46693333	14				

Tabla 4.5. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la humedad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la humedad de películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Humedad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	3.63	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	3.42	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	2.66	ab
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	1.65	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.37	b

Tabla 4.6. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T1 y T2 ocupando el primer orden con humedad promedio de 3.63%, 3.42% y 2.66% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T4 y T1 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T5 y T3, ocupando estos el segundo orden.

➤ Análisis de Varianza para la humedad de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	7.652306667	4	1.913076667	9.978145972	3.478049691	0.001613495
Error	1.917266667	10	0.191726667			
Total	9.569573333	14				

Tabla 4.7. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la humedad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la humedad de películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Humedad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.47	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	2.26	ab
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.56	abc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.20	bc
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.51	c

Tabla 4.8. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T1 y T4 pero significativamente igual a los tratamientos T2 y T3 ocupando el primer orden con humedad promedio de 2.47%, 2.26% y 1.56% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T4

pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T3 y T1, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T3 es significativamente igual a los tratamientos T1 y T4 pero no a los tratamientos T5 y T2 ocupando el tercer orden.

➤ Análisis de Varianza para la humedad de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	48.60217333	4	12.15054333	184.2666566	3.478049691	2.54966E-09
Error	0.6594	10	0.06594			
Total	49.26157333	14				

Tabla 4.9. Análisis de Varianza para la humedad en películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la humedad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la humedad de películas de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Humedad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	5.31	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	3.93	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.48	c
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	1.33	c
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.54	d

Tabla 4.10. Método de Tukey para la humedad en películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente con todos los tratamientos al igual que el tratamiento T4. Asimismo, se observa que el tratamiento T3 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T4 y T1 pero no existe diferencia significativa con el tratamiento T2, ocupando estos el tercer orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T1 es significativamente diferente con todos los tratamientos.

#### 4.1.4.3 SOLUBILIDAD

Respecto a las películas cuya concentración de almidón de banano verde es 3%. En el siguiente gráfico se puede apreciar que el T2 con 26.59% es el tratamiento con mayor solubilidad al agua, mientras que el T1 resulta ser menos soluble con 16.32%.

A su vez, en el mismo gráfico se puede observar que el T5 con 23.33% es el tratamiento que registra mayor solubilidad al agua, mientras que el T3 con 14.76% resulta ser menos soluble. Estos datos son respecto a las películas cuya concentración de almidón de banano verde es 4%.



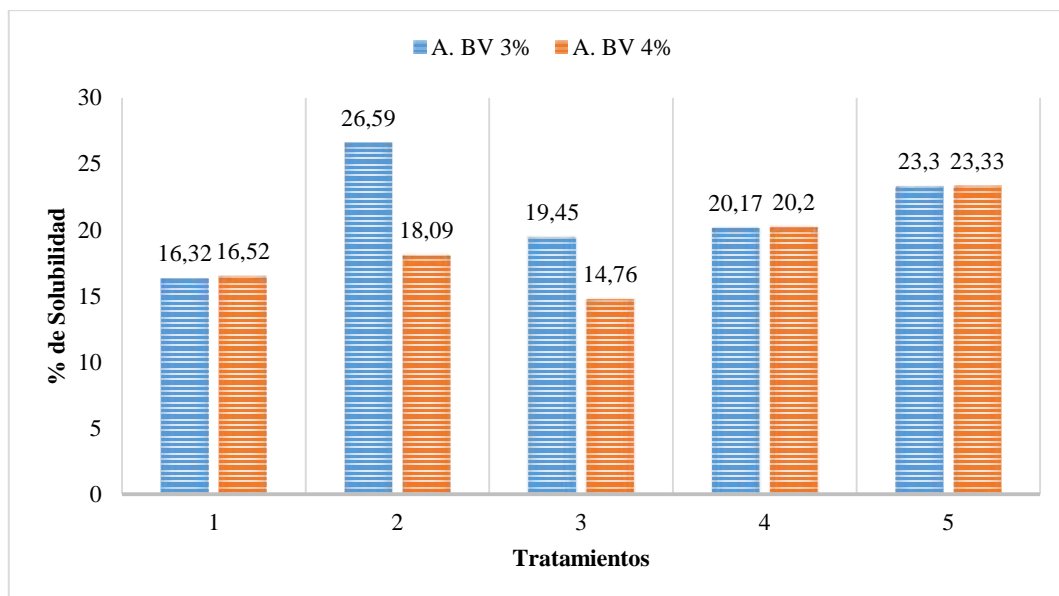


Gráfico 4.6. Solubilidad (%) de las películas que contienen almidón de banano verde.

Las siguientes figuras mostradas a continuación, son el resultado final de la prueba de solubilidad en agua. Podemos observar en la Figura 4.1. que los tres primeros tratamientos con sus tres repeticiones tuvo como reacción que las películas se encogieran pero aun así estas permanecieron enteras, caso contrario ocurrió en los tratamientos 4 y 5 cuyas películas se fraccionaron en partes muy pequeñas. En la Figura 4.2. se puede apreciar como los cuatro primeros tratamientos están enteros y encogidos pero en el tratamiento 5 las películas se fragmentaron.



Figura 4.1. Resultado final de las muestras de almidón de banano verde al 3%.

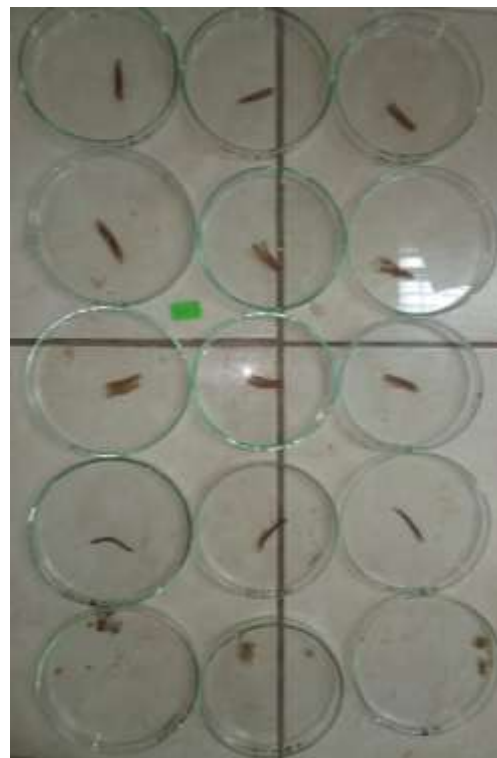


Figura 4.2. Resultado final de las muestras de almidón de banano verde al 4%.

Respecto a las películas cuya concentración de almidón de yuca es 3%. En el siguiente gráfico se puede apreciar que el T3 con 32.35% es el tratamiento con mayor solubilidad al agua, mientras que el T2 resulta ser menos soluble con 13.62%.

A su vez, en el mismo gráfico se puede observar que el T2 con 22.73 % es el tratamiento que registra mayor solubilidad al agua, mientras que el T1 con 14.26% resulta ser menos soluble. Estos datos son respecto a las películas cuya concentración de almidón de yuca es 4%.

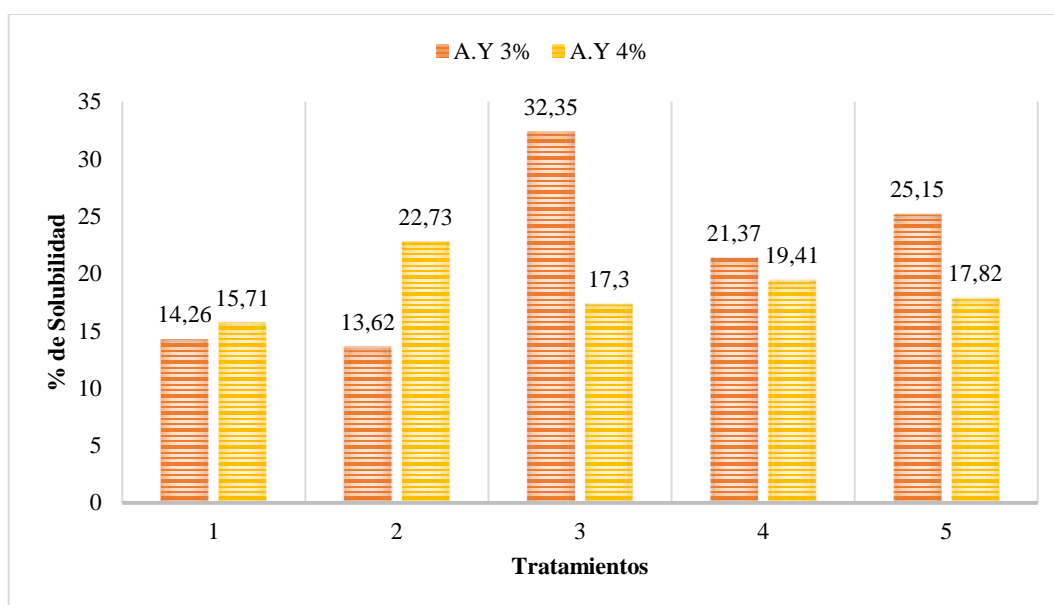


Gráfico 4.7. Solubilidad (%) de las películas que contienen almidón de yuca.

Las siguientes figuras mostradas a continuación, son el resultado final de la prueba de solubilidad en agua. Podemos observar en la Figura 4.3. que los tres primeros tratamientos con sus tres repeticiones tuvo como resultado que las películas se fraccionaran en partes demasiadas pequeñas, caso contrario ocurrió en los tratamientos 4 y 5 que tuvo como reacción que las películas se encogieran pero aun así estas permanecieron enteras, y una que otra que se dividieron en dos partes. En la Figura 4.4. se aprecia la ausencia de la R2 del T1, R1 del T2 y la R2 del T3, esto se debe a que la pequeña lámina expuesta se desintegró completamente y no permitió su medición. Asimismo, se puede notar que el T1, T2 y T3 las láminas están muy fraccionadas. En el T4 y T5 están enteros y encogidos.

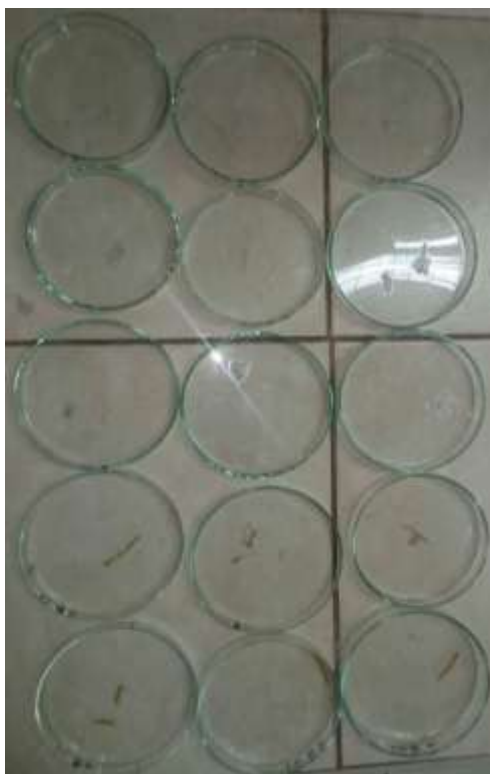


Figura 4.3. Resultado final de las muestras de almidón de yuca al 3%.



Figura 4.4. Resultado final de las muestras de almidón de yuca al 4%.

#### 4.1.4.3.1 Análisis Estadístico

➤ Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	184.0939067	4	46.02347667	11.61198334	3.478049691	0.00089236
Error	39.63446667	10	3.963446667			
Total	223.7283733	14				

Tabla 4.11. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la solubilidad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Solubilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	26.59	a
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	23.30	ab
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	20.17	bc
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	19.45	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	16.32	c

Tabla 4.12. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T4, T3 y T1 pero significativamente igual al tratamiento T5 ocupando el primer orden con solubilidad promedio de 26.59% y 23.30% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T1 y T2 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T4 y T3, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T4 es significativamente igual a los tratamientos T3 y T4 pero no a los tratamientos T2 y T5 ocupando el tercer orden.

➤ Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	132.7117333	4	33.17793333	8.912362577	3.478049691	0.002474198
Error	37.22686667	10	3.722686667			
Total	169.9386	14				

Tabla 4.13. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la solubilidad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Solubilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	23.33	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	20.20	ab
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	18.09	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	16.52	bc
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	14.76	c

Tabla 4.14. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T3, T1 y T3 pero significativamente igual al tratamiento T4 ocupando el primer orden con solubilidad promedio de 23.33% y 20.20% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T3 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T2 y T1, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T2 es significativamente igual a los tratamientos T1 y T3 pero no a los tratamientos T5 y T4 ocupando el tercer orden.

➤ Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	737.2623067	4	184.3155767	8.976445842	3.47804969	0.002408887
Error	205.3324667	10	20.53324667			
Total	942.5947733	14				

Tabla 4.15. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la solubilidad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Solubilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	32.36	a
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	25.15	ab
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	21.37	ab
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	14.25	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	13.62	b

Tabla 4.16. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T3 es significativamente diferente a los tratamientos T1 y T2 pero significativamente igual a los tratamientos T5 y T4 ocupando el primer orden con solubilidad promedio de 32.36%, 25.15% y 21.37% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T5 es significativamente diferente al tratamiento T3 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T4, T1 y T2, ocupando estos el segundo orden.

➤ Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	84.99024	4	21.24756	9.206633582	3.478049691	0.002190701
Error	23.07853333	10	2.307853333			
Total	108.0687733	14				

Tabla 4.17. Análisis de Varianza para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la solubilidad, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Solubilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	22.73	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	19.41	ab
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	17.82	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	17.30	b
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	15.72	b

Tabla 4.18. Método de Tuckey para la solubilidad de películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T3 y T1 pero significativamente igual al tratamiento T4 ocupando el primer orden con solubilidad promedio de 22.73% y 19.41% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente al tratamiento T2 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T5, T3 y T1 ocupando estos el segundo orden.

#### 4.1.4.4 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

Se puede notar en el Gráfico 4.8, que los tratamientos de banano verde cuya concentración de almidón es 3% tienen una mayor permeabilidad a comparación de las películas que contienen el 3% de almidón de yuca. A excepción del T3 que nos muestra lo contrario.

Asimismo, se puede apreciar que la permeabilidad al vapor de agua en el almidón de banano verde 3% oscila entre 0.00058 y 0.00034gmm/hPam<sup>2</sup>. Correspondiendo éstas al T2 y T3 respectivamente, siendo indicadas como el valor de mayor y menor permeabilidad.

Por otra parte, se puede observar que la permeabilidad al vapor de agua en el almidón de yuca 3% oscila entre 0.00047 y 0.00036gmm/hPam<sup>2</sup>. Correspondiendo éstas al T3 y T4 respectivamente, siendo indicadas como el valor de mayor y menor permeabilidad.

Estas láminas fueron las primeras en llegar al 4% más de su peso inicial.

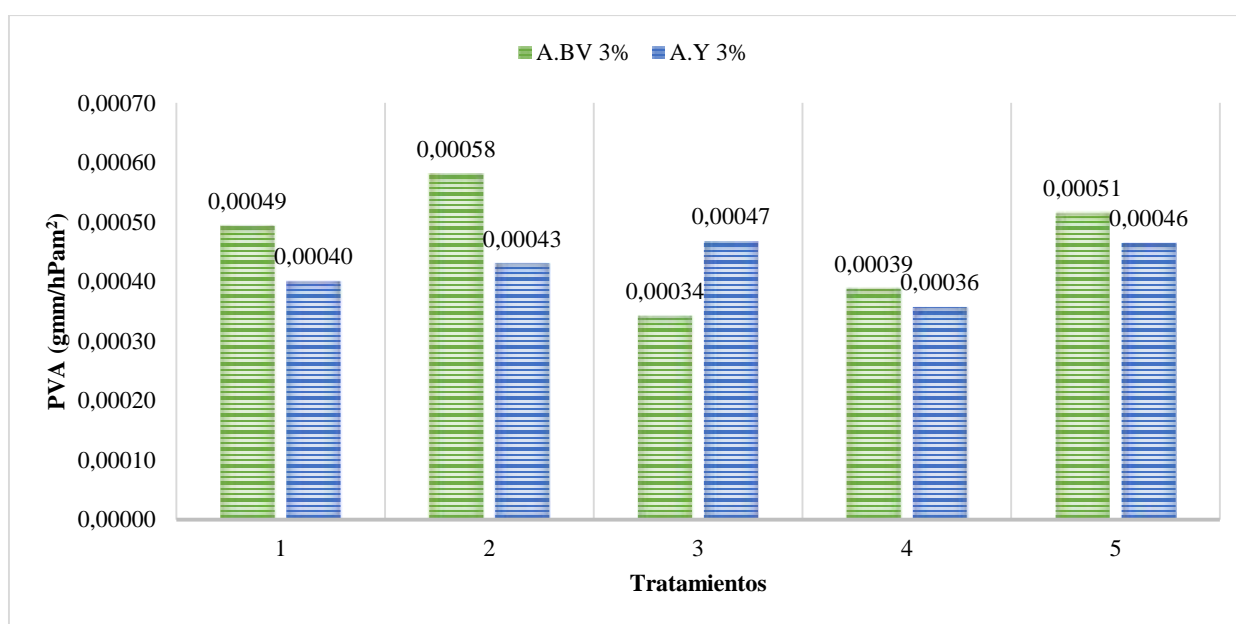


Gráfico 4.8. Permeabilidad al vapor de agua del 3% de almidón de banano verde y yuca.

Se puede notar en el Gráfico 4.9, que los tratamientos de banano verde cuya concentración de almidón es 4% tienen una mayor permeabilidad a comparación de las películas que contienen el 4% de almidón de yuca.

Asimismo, se puede apreciar que la permeabilidad al vapor de agua en el almidón de banano verde 4% oscila entre 0.00071 y 0.00040gmm/hPam<sup>2</sup>. Correspondiendo éstas al T1 y T3 respectivamente, siendo indicadas como el valor de mayor y menor permeabilidad.

Por otra parte, se puede observar que la permeabilidad al vapor de agua en el almidón de yuca 4% oscila entre 0.00047 y 0.00029gmm/hPam<sup>2</sup>. Correspondiendo éstas al T2 y T4 respectivamente, siendo indicadas como el valor de mayor y menor permeabilidad.

Estas láminas demoraron un poco más para llegar al 4% más de su peso inicial.



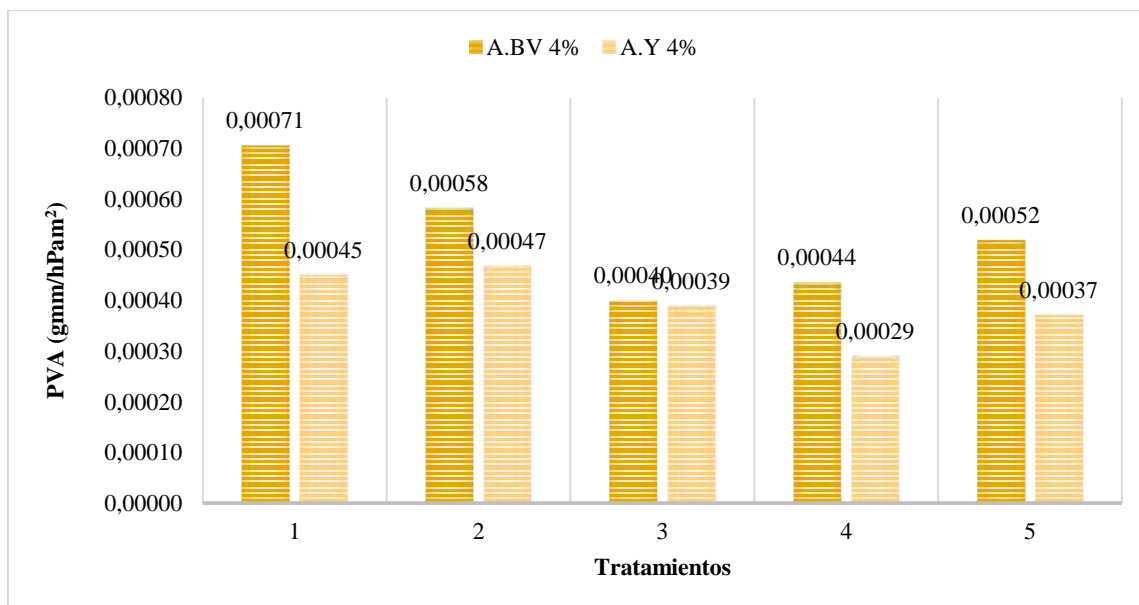


Gráfico 4.9. Permeabilidad al vapor de agua del 4% de almidón de banano verde y yuca.

La siguiente figura es el resultado de 27 días de evaluación, donde se muestra que la sílica gel cambió de color azul a rosado, el motivo es, que a medida que fue pasando los días, la sílica gel fue captando humedad, donde se pudo determinar por medio del pesado la permeabilidad al vapor de agua en cada una de las películas evaluadas.

El ANEXO 2. Muestra una tabla con los valores del estudio de la permeabilidad al vapor de agua del almidón de banano verde y yuca.

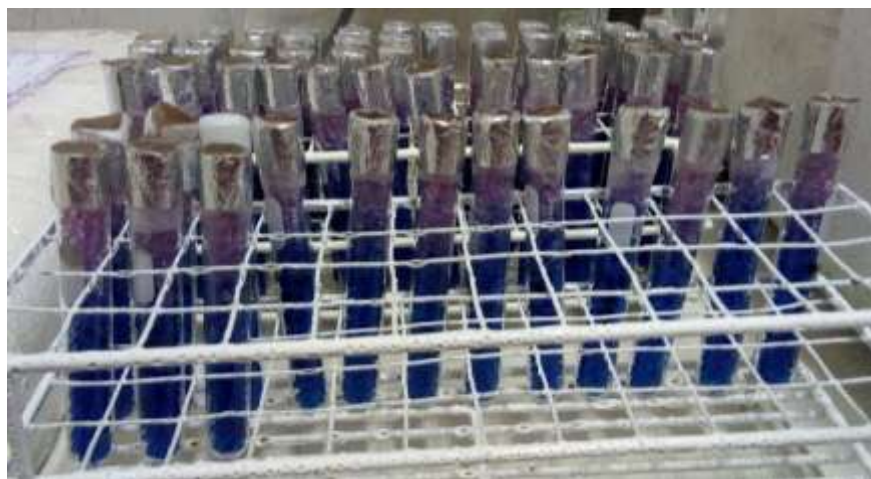


Figura 4.5. Tubos de ensayo en su último día de evaluación.



#### 4.1.4.4.1 Análisis Estadístico

- Análisis de Varianza para la permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	1.11373E-07	4	2.78433E-08	6.758090615	3.478049691	0.006676209
Error	4.12E-08	10	4.12E-09			
Total	1.52573E-07	14				

Tabla 4.19. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de banano verde al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la permeabilidad al vapor de agua, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la permeabilidad al vapor de agua en películas de almidón de banano verde al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Permeabilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	0.00058	a
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00052	ab
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00049	abc
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00039	bc
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00034	c

Tabla 4.20. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de banano verde al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T4 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T5 y T1 ocupando el primer orden con permeabilidad al vapor de agua promedio de 0.00058%, 0.00052% y 0.00049% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T2 y T3 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T1 y T4, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T1 es significativamente igual a los tratamientos T4 y T3 pero no a los tratamientos T2 y T5 ocupando el tercer orden.

- Análisis de Varianza para la permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	1.76733E-07	4	4.41833E-08	6.769662921	3.478049691	0.006637045
Error	6.52667E-08	10	6.52667E-09			
Total	0.000000242	14				

Tabla 4.21. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la permeabilidad al vapor de agua, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la permeabilidad al vapor de agua en películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Permeabilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00071	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	0.00058	ab
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00052	ab
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00044	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00040	b

Tabla 4.22. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T1 es significativamente diferente a los tratamientos T4 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T2 y T5 ocupando el primer orden con permeabilidad al vapor de agua promedio de 0.00071%, 0.00058% y 0.00052% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T2 es significativamente diferente al tratamiento T1 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T5, T4 y T3, ocupando estos el segundo orden.

- Análisis de Varianza para la permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	2.42267E-08	4	6.05667E-09	3.663306452	3.478049691	0.04361401
Error	1.65333E-08	10	1.65333E-09			
Total	4.076E-08	14				

Tabla 4.23. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la permeabilidad al vapor de agua, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la permeabilidad al vapor de agua en películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Permeabilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00047	a
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00046	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	0.00043	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00040	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00036	a

Tabla 4.24. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T3 es significativamente igual a todos los tratamientos.

- Análisis de Varianza para la permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	4.836E-08	4	1.209E-08	3.9	3.478049691	0.036806114
Error	0.000000031	10	3.1E-09			
Total	7.936E-08	14				

Tabla 4.25. Análisis de Varianza para el PVA en películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la permeabilidad al vapor de agua, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la permeabilidad al vapor de agua en películas de almidón de yuca al 4%

Códigos	Composición de las películas	Permeabilidad Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	0.00047	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00045	a
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00037	a
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	0.00036	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	0.00032	a

Tabla 4.26. Método de Tukey para el PVA en películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T2 es significativamente igual a todos los tratamientos.

## 4.1.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.1.5.1 ESFUERZO DE TRACCIÓN EN EL CORTE Y ELONGACIÓN

Los siguientes gráficos nos muestran valores inversamente proporcionales, es decir, al aumentar el esfuerzo de tensión disminuye el porcentaje de elongación o alargamiento.

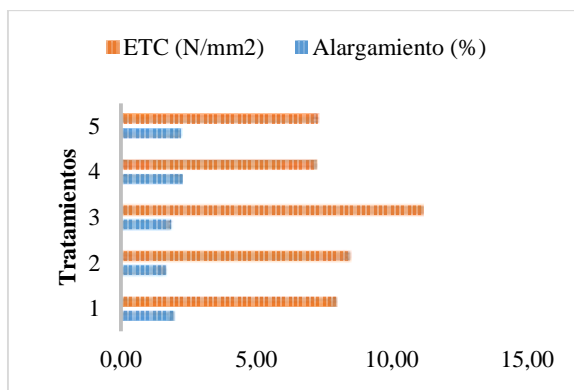


Gráfico 4.10. ETC y Alargamiento de almidón de banano verde al 3%.

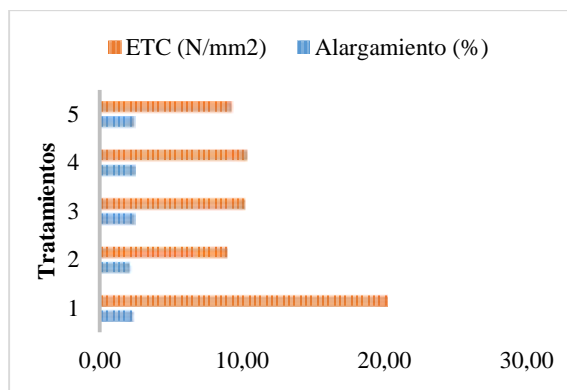


Gráfico 4.11. ETC y Alargamiento de almidón de banano verde al 4%.

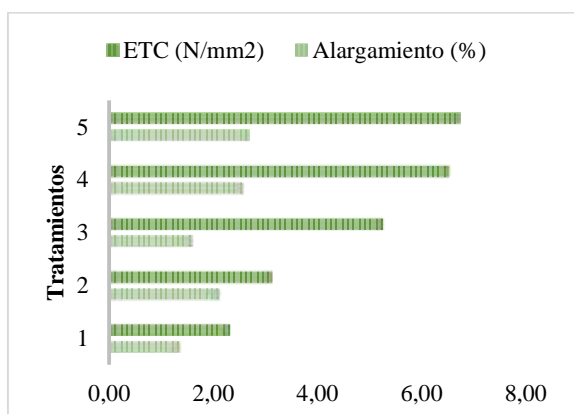


Gráfico 4.12. ETC y Alargamiento del almidón de yuca al 3%.

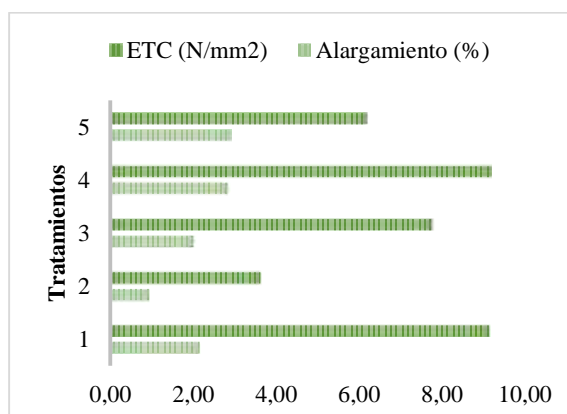


Gráfico 4.13. ETC y Alargamiento del almidón de yuca al 4%.

Por consiguiente, se puede apreciar en las siguientes tablas que tiene mayor esfuerzo de tracción en el corte en las películas elaboradas a partir de almidón de banano verde y menor esfuerzo de tensión en las películas de yuca, haciéndolo a estas últimas menos rígidas.

Asimismo, se puede apreciar que el porcentaje de alargamiento o elongación en el almidón de banano verde oscila entre 2,47 y 1,65%, siendo indicadas como el valor de mayor y menor elongación.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de elongación o alargamiento en el almidón de yuca oscila entre 2,92 y 0,95%, siendo indicadas como el valor de mayor y menor elongación.

Almidón (%)	Muestra	Alargamiento (%)	Desv. Est.	ETC (N/mm <sup>2</sup> )	Desv. Est.
<b>A. Bv 3%</b>	1	1.96	0.47	7.90	0.98
	2	1.65	0.47	8.33	1.78
	3	1.86	0.56	11.13	2.76
	4	2.27	0.75	7.15	1.85
	5	2.21	0	7.32	0.86
<b>A. Bv 4%</b>	1	2.26	*	20.23	*
	2	2.09	0.06	9.01	0.78
	3	2.41	0.16	10.13	2.01
	4	2.47	0.53	10.33	0.68
	5	2.40	0.36	9.28	0.13

\*No muestra desviación estándar porque se tomó una sola repetición.

Tabla 4.27. Propiedades mecánicas de almidón de banano verde.

Almidón (%)	Muestra	Alargamiento (%)	Desv. Est.	ETC (N/mm <sup>2</sup> )	Desv. Est.
<b>A. Y3%</b>	1	1.36	0.35	2.31	1.63
	2	2.12	*	3.14	*
	3	1.60	0.55	5.09	1.08
	4	2.57	0.29	6.45	1.39
	5	2.69	0.05	6.73	0.50
<b>A. Y4%</b>	1	2.15	0.37	9.05	1.20
	2	0.95	*	3.62	*
	3	2.02	0.42	7.70	1.01
	4	2.84	0.16	9.19	0.29
	5	2.92	0.39	6.21	0.70

\*No muestra desviación estándar porque se tomó una sola repetición.

Tabla 4.28. Propiedades mecánicas del almidón de yuca.

El ANEXO 3. Muestra en una tabla los valores del estudio del Esfuerzo de Tracción en el Corte y % de Alargamiento del almidón de banano verde y yuca.

#### 4.1.5.1.1 Análisis Estadístico

- Análisis de Varianza para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	31.30713333	4	7.826783333	2.520070106	3.478049691	0.107512169
Error	31.0578	10	3.10578			
Total	62.36493333	14				

Tabla 4.29. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de banano verde al 3%.

Los resultados analizados en el ANOVA para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de las películas utilizando un diseño en bloques completamente al azar, indican que no existe diferencia altamente significativa entre los diferentes tipos de tratamientos y también entre sus diferentes concentraciones. Con un valor de F entre tratamientos y bloques de 2.5201 y 3.4780 respectivamente.

- Análisis de Varianza para la Elongación de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	0.778766933	4	0.194691733	0.742962104	3.478049691	0.584142807
Error	2.62048	10	0.262048			
Total	3.399246933	14				

Tabla 4.30. Análisis de Varianza para la elongación en películas de almidón de banano verde al 3%.

Los resultados analizados en el ANOVA para la elongación de las películas utilizando un diseño en bloques completamente al azar, indican que no existe diferencia altamente significativa entre los diferentes tipos de tratamientos y también entre sus diferentes concentraciones. Con un valor de F entre tratamientos y bloques de 0.7430 y 3.4780 respectivamente.

- Análisis de Varianza para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	264.1708	4	66.0427	8.851200304	3.478049691	0.002538519
Error	74.6144	10	7.46144			
Total	338.7852	14				

Tabla 4.31. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para el esfuerzo de tracción en el corte, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	ETC Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	20.23	a
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	13.51	ab
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	10.33	b
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	9.28	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	9.01	b

Tabla 4.32. Método de Tukey para el esfuerzo de tracción en el corte de películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T1 es significativamente diferente a los tratamientos T4, T5 y T2 pero significativamente igual al tratamiento T3 ocupando el primer orden con esfuerzo de tracción en el corte promedio de 20.23% y 13.51% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T3 es significativamente diferente al tratamiento T1 pero no existe diferencia significativa en los tratamientos T4, T5 y T2, ocupando estos el segundo orden.

- Análisis de Varianza para la Elongación de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	0.286275333	4	0.071568833	0.836968403	3.478049691	0.531997829
Error	0.855096	10	0.0855096			
Total	1.141371333	14				

Tabla 4.33. Análisis de Varianza para la elongación en películas de almidón de banano verde al 4%.

Los resultados analizados en el ANOVA para la elongación de las películas utilizando un diseño en bloques completamente al azar, indican que no existe diferencia altamente significativa entre los diferentes tipos de tratamientos y también entre sus diferentes concentraciones. Con un valor de F entre tratamientos y bloques de 0.8370 y 3.4780 respectivamente.

- Análisis de Varianza para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	46.40902667	4	11.60225667	14.19768884	3.478049691	0.000395087
Error	8.171933333	10	0.817193333			
Total	54.58096	14				

Tabla 4.34. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para el esfuerzo de tracción en el corte, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	ETC Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	6.73	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	6.45	a
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	5.09	ab
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	3.14	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	2.31	c

Tabla 4.35. Método de Tukey para el esfuerzo de tracción en el corte de películas de almidón yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T2 y T1 pero significativamente igual a los tratamientos T4 y T3 ocupando el primer orden con esfuerzo de tracción en el corte promedio de 6.73%, 6.45% y 5.09% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T3 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T4 y T1 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T2, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T2 es significativamente igual al tratamiento T1 pero no a los tratamientos T5, T4 y T3 ocupando el tercer orden.

- Análisis de Varianza para la Elongación de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	4.090331067	4	1.022582767	17.1449059	3.478049691	0.000179026
Error	0.596435333	10	0.059643533			
Total	4.6867664	14				

Tabla 4.36. Análisis de Varianza para la elongación de películas de almidón de yuca al 3%.



En la prueba de análisis de varianza para la elongación, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

➤ Método de Tukey de películas para la Elongación de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	Elongación Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.69	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.57	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	2.12	ab
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.60	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	1.36	c

Tabla 4.37. Método de Tukey para la elongación de películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T3 y T1 pero significativamente igual a los tratamientos T4 y T2 ocupando el primer orden con elongación promedio de 2.69%, 2.57% y 2.12% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T4 y T1 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T3, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T3 es significativamente igual al tratamiento T1 pero no a los tratamientos T5, T4 y T2 ocupando el tercer orden.

➤ Análisis de Varianza para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	64.35613333	4	16.08903333	32.0818212	3.478049691	1.11334E-05
Error	5.015	10	0.5015			
Total	69.37113333	14				

Tabla 4.38. Análisis de Varianza para el esfuerzo de tracción en el corte en películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para el esfuerzo de tracción en el corte, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	ETC Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	9.20	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	9.05	a
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	7.70	ab
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	6.21	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	3.62	c

Tabla 4.39. Método de Tukey para el Esfuerzo de Tracción en el Corte de películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T2 pero significativamente igual a los tratamientos T1 y T3 ocupando el primer orden con solubilidad promedio de 9.20%, 9.05% y 7.70% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T3 es significativamente diferente a los tratamientos T4, T1 y T2 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T5, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T2 es significativamente diferente con todos los tratamientos.

- Análisis de Varianza para la Elongación de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	7.597823067	4	1.899455767	23.96140562	3.478049691	4.16077E-05
Error	0.792714667	10	0.079271467			
Total	8.390537733	14				

Tabla 4.40. Análisis de Varianza para la elongación de películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la elongación, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey de películas para la Elongación de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	Elongación Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.92	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	2.84	ab
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	2.15	bc
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	2.02	c
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	0.95	d

Tabla 4.41. Método de Tukey para la elongación de películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T1, T3 y T2 pero significativamente igual al tratamiento T4 ocupando el primer orden con elongación promedio de 2.92% y 2.84% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T3 y T2 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T1, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T1 es significativamente igual al tratamiento T3 y diferente a los tratamientos T5, T4 y T2. Por último, el tratamiento T2 es significativamente diferente con todos los tratamientos.

#### 4.1.6 PROPIEDADES DE BIODEGRADACIÓN

##### 4.1.6.1 BIODEGRADACIÓN ANAERÓBICA

Se muestran los resultados del porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial en condiciones anaeróbicas. Para analizar esta propiedad, se construyeron curvas de degradación.

Tiempo Días	A. Bv 3%					A. Bv 4%				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0.60%	4.08%	1.23%	6.40%	6.71%	0.15%	1.04%	2.22%	4.01%	8.46%
4	1.41%	4.24%	1.64%	8.43%	10.20%	4.55%	3.47%	3.48%	6.84%	11.44%
7	9.44%	5.87%	2.46%	9.30%	11.95%	5.58%	4.85%	3.80%	7.08%	13.43%
9	11.24%	6.04%	3.69%	11.05%	14.87%	7.34%	7.28%	5.06%	8.73%	14.43%
11	11.45%	6.04%	5.12%	11.05%	15.74%	7.49%	7.45%	6.33%	8.96%	14.68%
14	13.25%	7.67%	5.74%	13.95%	16.03%	9.84%	9.36%	7.59%	11.56%	17.41%
21	14.66%	9.95%	7.79%	15.12%	18.37%	9.99%	11.09%	8.23%	14.62%	17.91%
Tiempo Días	A. Y 3%					A. Y 4%				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	2.92%	1.99%	6.53%	7.01%	9.43%	0.47%	0.96%	0.27%	3.67%	8.19%
4	3.55%	2.27%	7.22%	7.96%	13.84%	1.10%	3.18%	0.82%	5.70%	9.68%
7	3.97%	3.69%	7.90%	8.92%	14.15%	1.57%	3.66%	3.82%	5.91%	10.42%
9	4.38%	3.98%	8.59%	8.92%	15.72%	2.20%	5.57%	3.96%	7.74%	10.42%
11	4.38%	4.26%	8.59%	9.24%	15.72%	2.67%	5.57%	5.46%	7.94%	12.41%
14	6.68%	5.97%	10.31%	11.46%	18.24%	4.24%	7.01%	5.73%	9.78%	13.90%
21	6.88%	6.25%	12.03%	11.78%	18.55%	5.02%	8.76%	7.37%	11.41%	16.63%

Tabla 4.42. Resultados de porcentaje de pérdida de peso con respecto al primer día de las películas en condiciones anaeróbicas.

Como se muestra en el Gráfico 4.14, las películas en condiciones anaeróbicas que se degradaron rápidamente en un tiempo de 21 días fueron: T5 Y3%, T5 Y4%, T5 BV3% y T5 BV4%. Todos ellos tienen en su composición un mayor porcentaje de quitosano, eso quiere decir que el quitosano junto con el almidón ayuda a la biodegradación al suelo en un mayor porcentaje en comparación al resto de tratamientos.

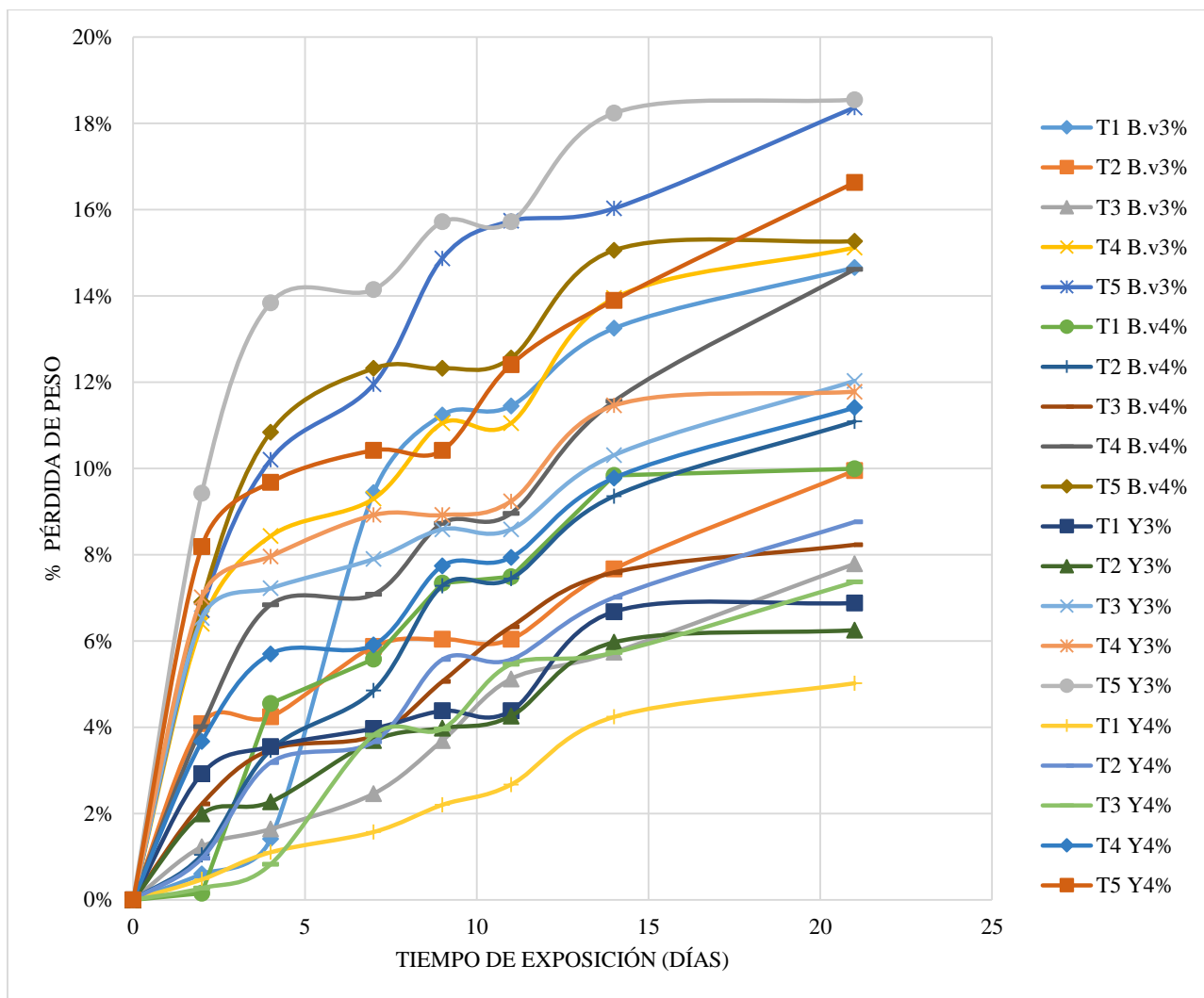


Gráfico 4.14. Curvas de biodegradación de las películas en condiciones anaeróbicas.

La figura mostrada a continuación, es el resultado final del último día de evaluación donde se pudieron observar lo deshidratado de las películas y la falta de una pequeña parte de ellas producto de la biodegradación anaeróbica. Asimismo, se pudo apreciar que estuvieron secas y quebradizas.



Figura 4.6. Resultado final de las películas de almidón de yuca y banana verde. al 3 y 4% en biodegradación anaeróbica.

#### 4.1.6.1.1 Análisis Estadístico

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	134.6455067	4	33.66137667	15.44605268	3.478049691	0.000278237
Error	21.79286667	10	2.179286667			
Total	156.4383733	14				

Tabla 4.43. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación anaeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

Códigos	Composición de las películas	B. Anaeróbica Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	15.04	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	15.00	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	14.32	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	9.88	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	7.81	b

Tabla 4.44. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T2 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T4 y T1 ocupando el primer orden con una biodegradación anaeróbica promedio de 15.04%, 15.00% y 14.32% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T2 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T4 y T1 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T3, ocupando estos el segundo orden.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	107.2376667	4	26.80941667	13.12240173	3.478049691	0.000545699
Error	20.43026667	10	2.043026667			
Total	127.6679333	14				

Tabla 4.45. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación anaeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	B. Anaeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	15.30	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	14.72	ab
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	11.05	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	9.99	c
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	8.45	c

Tabla 4.46. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T2, T1 y T3 pero significativamente igual al tratamiento T4 ocupando el primer orden con biodegradación anaeróbica promedio de 15.30% y 14.72% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T1 y T3 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T2, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T2 es significativamente igual a los tratamientos T1 y T3 y diferente a los tratamientos T5 y T4.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	309.83816	4	77.45954	32.06912056	3.478049691	1.11536E-05
Error	24.15393333	10	2.415393333			
Total	333.9920933	14				

Tabla 4.47. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación anaeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	B. Anaeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	18.73	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	11.56	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	10.92	bc
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	6.86	cd
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	5.87	d

Tabla 4.48. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a todos los tratamientos. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T1 y T2 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T3, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T3 es significativamente igual al tratamiento T1 y diferente a los tratamientos T5, T4 y T2. Por último, el tratamiento T1 es significativamente igual al tratamiento T2 pero diferente a los tratamientos T5, T4 y T3.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	242.5662933	4	60.64157333	53.16451583	3.478049691	1.05534E-06
Error	11.4064	10	1.14064			
Total	253.9726933	14				

Tabla 4.49. Análisis de Varianza para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación anaeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	B. Anaeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	16.72	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	11.48	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	8.71	bc
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	7.31	cd
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	5.03	d

Tabla 4.50. Método de Tukey para la biodegradación anaeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a todos los tratamientos. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T3 y T1 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T2, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T2 es significativamente igual al tratamiento T3 y diferente a los tratamientos T5, T4 y T1. Por último, el tratamiento T3 es significativamente igual al tratamiento T1 pero diferente a los tratamientos T5, T4 y T2.



#### 4.1.6.2 BIODEGRADACIÓN AERÓBICA

Se muestran los resultados del porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial en condiciones aeróbicas. Para analizar esta propiedad, se construyeron curvas de degradación.

Tiempo Días	A. Bv 3%					A. Bv 4%				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	1.73%	6.52%	1.41%	6.78%	6.37%	0.30%	3.20%	0.52%	5.08%	6.85%
4	2.60%	7.42%	2.82%	9.76%	11.65%	1.48%	5.20%	1.31%	7.53%	8.57%
7	2.60%	8.76%	2.82%	10.57%	14.23%	1.63%	6.93%	1.83%	9.04%	9.64%
9	4.62%	9.89%	3.38%	13.55%	16.26%	2.96%	9.07%	3.40%	11.11%	11.35%
11	4.91%	10.56%	4.23%	13.82%	16.92%	3.85%	10.00%	3.66%	11.49%	12.21%
14	5.78%	11.01%	4.51%	14.63%	17.58%	4.44%	10.93%	3.93%	12.05%	12.42%
21	6.07%	11.69%	5.07%	15.45%	17.80%	4.88%	11.20%	4.19%	12.81%	13.28%
Tiempo Días	A. Y 3%					A. Y 4%				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	2.19%	3.87%	5.97%	5.94%	8.69%	0.51%	3.62%	1.31%	4.46%	7.60%
4	4.39%	7.10%	8.18%	8.27%	13.51%	0.51%	4.88%	2.40%	6.59%	9.65%
7	4.82%	8.82%	8.81%	9.04%	15.44%	0.67%	6.14%	2.63%	7.17%	11.70%
9	6.14%	10.75%	10.69%	11.37%	18.73%	2.36%	8.19%	4.38%	9.11%	13.76%
11	6.80%	11.18%	10.69%	11.89%	19.50%	2.87%	8.66%	4.81%	9.69%	14.99%
14	7.02%	11.40%	11.01%	12.40%	19.88%	3.37%	9.29%	5.03%	10.33%	15.40%
21	7.24%	11.61%	11.32%	13.18%	20.27%	3.37%	9.45%	5.91%	10.66%	15.61%

Tabla 4.51. Resultados de porcentaje de pérdida de peso con respecto al primer día de las películas en condiciones aeróbicas.

Como se puede apreciar en el Gráfico 4.15, las películas en condiciones aeróbicas que se degradaron rápidamente en un tiempo de 21 días fueron: T5 Y3%, T5 Y4%, T5 BV3% y T4 BV3%. Todos ellos tienen en su composición quitosano, eso quiere decir que el quitosano junto con el almidón ayuda a la biodegradación al suelo en un mayor porcentaje en comparación al resto de tratamientos.

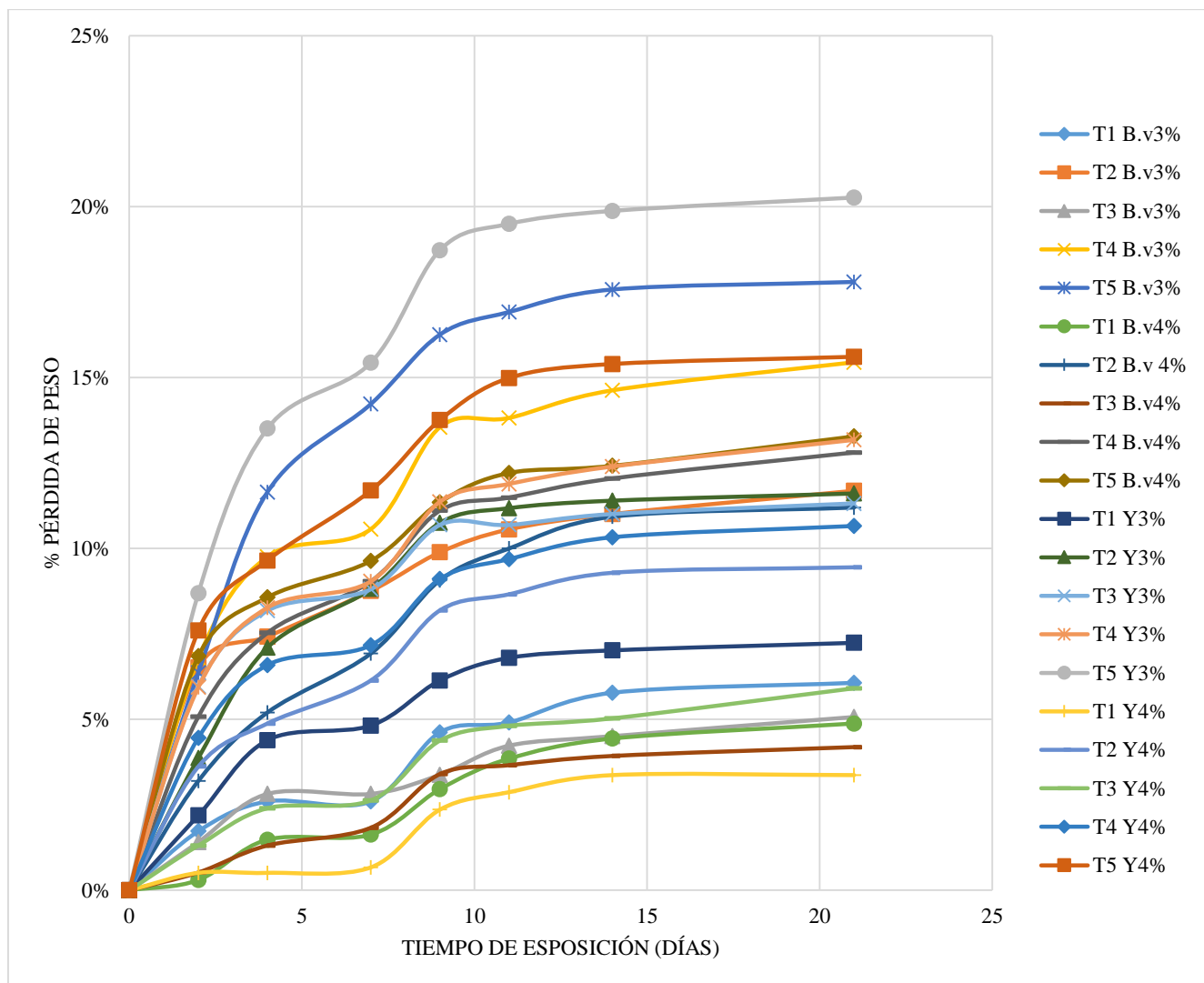


Gráfico 4.15. Curvas de biodegradación de las películas en condiciones aeróbicas.

La figura mostrada a continuación, es el resultado final del último día de evaluación donde se pudieron observar lo deshidratado de las películas y la falta de una pequeña parte de ellas producto de la biodegradación aeróbica. Asimismo, se pudo apreciar que estuvieron secas y quebradizas.



Figura 4.7. Resultado final de las películas de almidón de yuca y banana verde al 3 y 4% en biodegradación aeróbica.

#### 4.1.6.2.1 Análisis Estadístico

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i> Probabilidad</i>
Tratamientos	379.4661333	4	94.86653333	71.46362532	3.478049691	2.57248E-07
Error	13.2748	10	1.32748			
Total	392.7409333	14				

Tabla 4.52. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación aeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

Códigos	Composición de las películas	B. Aeróbica Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	17.81	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	15.57	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	11.58	b
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	6.11	c
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	5.06	c

Tabla 4.53. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T2, T1 y T3 pero significativamente igual al tratamiento T4 ocupando el primer orden con biodegradación aeróbica promedio de 17.81% y 15.57% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a todos los tratamientos, ocupando este el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T1 es significativamente igual al tratamiento T3 y diferente a los tratamientos T5, T4 y T2.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	239.2213067	4	59.80532667	38.8696272	3.478049691	4.59201E-06
Error	15.38613333	10	1.538613333			
Total	254.60744	14				

Tabla 4.54. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación aeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

Códigos	Composición de las películas	B. Anaeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	13.22	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	12.97	a
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	11.22	a
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	4.92	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	4.01	b

Tabla 4.55. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de banano verde al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a los tratamientos T1 y T3 pero significativamente igual a los tratamientos T4 y T2 ocupando el primer orden con biodegradación aeróbica promedio de 13.22%, 12.97% y 11.22% respectivamente. Asimismo, se observa que el tratamiento T1 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T4 y T2 pero no existe diferencia significativa con el tratamiento T3, ocupando estos el segundo orden.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Media</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	273.2045333	4	68.30113333	132.5412042	3.478049691	1.2846E-08
Error	5.1532	10	0.51532			
Total	278.3577333	14				

Tabla 4.56. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación aeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

Códigos	Composición de las películas	B. Aeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	20.21	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml A. + 10ml Al.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	12.23	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	11.48	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	10.91	b
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	7.20	c

Tabla 4.57. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 3%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente con todos los tratamientos. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5 y T1 pero no existe diferencia significativa con los tratamientos T2 y T3, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T1 es significativamente diferente con todos los tratamientos.

- Análisis de Varianza para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>Sumas de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F calculado</i>	<i>F5%</i>	<i>Probabilidad</i>
Tratamientos	274.2954667	4	68.57386667	129.5035693	3.478049691	1.43885E-08
Error	5.295133333	10	0.529513333			
Total	279.5906	14				

Tabla 4.58. Análisis de Varianza para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

En la prueba de análisis de varianza para la biodegradación aeróbica, se observa que existe diferencia significativa entre los efectos de los tratamientos en un nivel de significancia de 5%.

- Método de Tukey para la Biodegradación Aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

Códigos	Composición de las películas	B. Aeróbicas Promedio (%)	Tukey $\alpha=0.05$
T5	50ml Q. al 1% + 30ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	15.75	a
T4	40ml Q. al 1% + 40ml Al. + 10ml A.v al 5% + 10ml Gl. al 1.5%	10.60	b
T2	60ml Almidón + 25ml A.v al 5% + 15ml Glicerina al 1.5%	9.44	b
T3	60ml Almidón + 30ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	5.79	c
T1	70ml Almidón + 20ml A.v al 5% + 10ml Glicerina al 1.5%	3.27	d

Tabla 4.59. Método de Tukey para la biodegradación aeróbica de películas de almidón de yuca al 4%.

La prueba Tukey indicó que el tratamiento T5 es significativamente diferente a todos los tratamientos. Asimismo, se observa que el tratamiento T4 es significativamente diferente a los tratamientos T5, T3 y T1 pero no existe diferencia significativa en el tratamiento T2, ocupando estos el segundo orden. Por consiguiente, se aprecia que el tratamiento T3 es significativamente diferente a todos los tratamientos, de igual forma que el tratamiento T1.

## 4.2 DISCUSIÓN

### 4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ALMIDÓN (AMILOSA Y AMILOPECTINA)

El grado de madurez del fruto es un factor importante para la obtención de mayores rendimientos en el almidón, ya que entre más inmaduro esté el fruto el contenido de almidón es mayor y diferente, porque a medida que avanza el proceso de maduración el almidón se convierte en azúcares (Badui, 1999). Similar manifestación lo ostentaron Abadía (1979) y Palmer (1979), quienes exponen que para aislar el almidón de plátano es necesario trabajar con la fruta en estado verde que es cuando posee la máxima cantidad de este (de 20 a 25%). En la prueba de identificación de almidón según la USP NF 25, comprobó que los productos finales extraídos en la investigación definitivamente eran almidones y esto es debido a que la reacción química entre el almidón y la solución de yodo dando como resultado la formación de cadenas poliyoduro a partir de la reacción del almidón con el yodo presente en la Solución Lugol. Este color azul-negro desapareció al hidrolizarse o romperse el almidón en unidades estructurales menos pequeñas durante el calentamiento aplicado. Según Méndez (2010), la amilosa forma complejos de inclusión con yodo y es responsable del color azul característico del complejo almidón yodo. La amilopectina ha dado evidencias de no formar complejos estables con yodo pero dan un color rojo pálido en su presencia.

El contenido de amilosa en el almidón de banano verde fue de 20.43% y de amilopectina 79.57%. Kayisu *et al.* (1981) indican que el contenido de amilosa en el almidón de banano se encuentra entre 15 - 40%. Para banano del grupo Cavendish, Kayisu (1981) reportó un contenido de 16% en amilosa y Ling (1982) un contenido de 19.5%. Para el almidón de banano del grupo Valery, García (1988) reportó un contenido de 17% y Waliszewski (2003) de 40.7% para la amilosa. Datos cercanos a lo analizado.

Por otra parte, el contenido de amilosa en el almidón de yuca fue de 14.36% y 85.64% de amilopectina. Repamar (2000) indica un contenido de amilosa en 16% y 84% de amilopectina en el almidón de yuca. Dato similar reporta Morín (2010) con un 17% de amilosa y 83% de amilopectina. Charles *et al.* (2005) reportaron que el contenido de amilosa en almidones de diferentes variedades de yuca fue de 15,9 a 22,4%.

## **4.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ALMIDONES**

El contenido de lípidos encontrado en estudio de investigación osciló a 0.43% para la muestra de almidón de banano verde, Navarro (2016) reportó 0.20% de lípidos, menor a las obtenidas en las investigaciones de Zamudio-Flores en sus investigaciones del 2005 y 2008, donde obtuvo valores de 1.42 % y 1.85% de lípidos, para almidón nativo de la misma variedad de fruto respectivamente. Por otro lado, el contenido de lípidos presente en el almidón de yuca fue de 0.39%, Soto (2010) indica un contenido de lípidos mayor a las obtenidas en la presente investigación, este valor es de 0.70%, por su parte Ballesteros (2011) obtuvo un valor de 0.50%.

El banano verde obtuvo el mayor porcentaje de humedad de 15.61% en comparación al almidón de yuca de 9.53%. Iles (2017) indica un menor contenido de humedad en el banano verde de 13.12%, de igual modo lo indica Soto (2010) con una valor de 12.50%. En cuanto al contenido de humedad en la yuca, dato similar reportó Hernández et al. (2008) con 9.48% y Soto (2010) reporta un porcentaje de 8.50 menor a lo encontrado en esta investigación.

Respecto al contenido de cenizas para el almidón de banano verde se encontró el 0.26%, dato menor a lo encontrado en la investigación de Iles (2017) quién indica 0.96% de cenizas presente en el banano verde. Para el almidón de yuca se obtuvo el 0.07% cenizas, Morales (2014) reportó en el almidón de yuca un contenido de cenizas de 0.24%. Ballesteros (2011) indica un rango entre 0.50 a 1.50% de cenizas en el almidón de yuca y Hernández et al. (2008) reporta 0.29%.

## **4.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS**

### **4.2.3.1 ESPESOR**

En el presente estudio de investigación se pudo notar que a medida que aumenta el porcentaje de almidón el espesor es mayor. Resultados similares lo encontraron Sánchez, García y Pinzón (2012), quienes pudieron observar que el aumento en las concentraciones de almidón de yuca, glicerol y quitosano presenta un mayor espesor de la película. Por su parte Sebti *et al.* (2007) manifiestan que el espesor de una película depende en gran medida de la naturaleza y la composición de la película.

Los espesores de las películas con la misma concentración de almidón no son iguales pero si similares y esto se debe al método de producción (*casting*) que se empleó, como lo manifiesta Sobra (1999), la metodología casting involucra el secado por evaporación del

solvente y el control del espesor de las películas se vuelve más difícil cuando se trabaja con una solución filmogénica viscosa. Otro factor que influye en el espesor de la película es el tipo de plastificante y su concentración como lo manifiestan Sanyang *et al.* (2015). Variaciones en el espesor de un material conduce a problemas en su desempeño mecánico y fluctuaciones en las propiedades de barrera. (Cetea, 1996).

(Muñoz, 2014). Este autor indica que el contenido de glicerina dentro de sus películas influye en el espesor de las mismas, obteniendo una mayor espesura de 0.42mm en la película con 64.14% de glicerina y menor espesura de 0.25mm con 35.86% de glicerina.

Navarro (2016) manifiesta en su investigación que el espesor de la película depende del contenido y concentración de almidón que se elaboran las películas, entre mayor sea su concentración mayor será su espesura.

Cuando se habla de películas generalmente se hace referencia a materiales plásticos presentados en espesores que no excedan a 0.010 pulg (0.254 mm), ya que los espesores mayores se conocen como hojas (Rodríguez, 2002). Valor que no es excedido en las películas quitosano - almidón elaborado en esta investigación, ya que éstas, a concentraciones de almidón del 3% presentan valores de espesor mayor a 0.064  $\mu\text{m}$  y menor a 0.099  $\mu\text{m}$ , y a concentraciones de almidón de 4% el espesor es mayor a 0.082  $\mu\text{m}$  pero menor a 0.120  $\mu\text{m}$ .

#### **4.2.3.2 HUMEDAD**

En cuanto a las películas formuladas a partir de banano verde, se registraron valores de contenido de humedad más altos cuando la concentración de almidón es menor, es decir, tienen mayor porcentaje de humedad las películas de almidón de banano verde al 3% y menor en las películas con una concentración de almidón de 4%.

Resultados similares a los obtenidos en esta investigación los encontraron Sánchez, García y Pinzón (2012) quienes manifestaron que se obtuvo una mayor humedad en las películas con una concentración de 3% con relación a las que contenían 4%. (Sanyang *et al.*, 2015) manifestó que la concentración de almidón influye en el contenido de humedad de las películas.

Por otro lado, en las películas formuladas a partir de yuca, las que presentaron mayor porcentaje de humedad fueron los tratamientos T4 y T5 del 4% de almidón. Ambos tienen en su composición quitosano-almidón.

Guilbert (1986), manifiesta que las películas de polisacáridos quitosano-almidón no son buena barrera para la humedad.



#### 4.2.3.3 SOLUBILIDAD

En las figuras mostradas anteriormente se puede apreciar en el caso del banano verde al 3% el alto grado de solubilidad al agua en los tratamientos T4 y T5 las cuales tienen en su composición quitosano-almidón, diferente a los tratamientos T1, T2 y T3 que solo poseen almidón. Para el caso del banano verde al 4% por ser de mayor concentración se registró un alto grado de solubilidad en el T5, por lo tanto se puede concluir que la concentración del almidón en las películas también influye la solubilidad al agua.

Resultado respaldado por Navarro (2016) donde manifiesta que a mayor concentración de almidón, mayor es la solubilidad en agua, concluyendo que la concentración de almidón en las películas influye en su capacidad de disolverse en agua.

Esto confirma lo encontrado por Morin (2010), el cual sustenta que la solubilidad de las películas en agua está directamente relacionada con sus componentes, o sea, con la hidrofiliidad o hidrofobicidad de su estructura que puede ser causada por el almidón, esto quiere que a mayor porcentaje de estos componentes, mayor será la solubilidad en agua.

Por otro lado, las películas de almidón de yuca al 3% registraron una mayor solubilidad en los tratamientos T1, T2 y T3, caso contrario ocurrió en los tratamientos T4 y T5 resultando ser menos solubles en agua. Esto indica que las películas de almidón de yuca por si solas no necesitan de otro polímero para ser solubles. Igual resultado se obtuvo en el almidón de yuca al 4%.

Las películas elaboradas solamente con almidón poseen poca resistencia al agua, propiedades mecánicas y actividad antimicrobiana (Arifin *et al.*, 2016). Unido con otro polímero resultan ser amigables proporcionando películas de baja solubilidad al agua.

#### 4.2.3.4 PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

En el presente estudio de permeabilidad al vapor de agua, se registró entre todas las películas al tratamiento T1 de almidón de banano verde 4% como el film de mayor permeabilidad con  $0.00071 \text{ gmm/hPam}^2$  y de menor permeabilidad al tratamiento T3 de almidón de banano verde 3% con  $0.00034 \text{ gmm/hPam}^2$ , por consiguiente se observa la relación con el espesor de las películas, ya que se registró un mayor espesor en el tratamiento T1 con 0.114 y un menor espesor en el tratamiento T3 con 0.064. Esto quiere decir que el espesor de las películas influye en la permeabilidad de los films.

Similares análisis declararon Bertan (2003) y Sobral (2001), quienes observaron que el aumento de la permeabilidad va en función al aumento del espesor. Declaración afín lo realiza Rutiaga (2002), en la cual declara que uno de los parámetros importantes para el desempeño de las propiedades de barrera de las películas es el espesor, ya que tiene una influencia directa en el desempeño de las mismas. Bertuzzi *et al.* (2007), a su vez también manifiestan que la permeabilidad es afectada generalmente por temperatura, espesura de la película, y el uso de un plastificante.

La humedad de las películas no influye en los valores de permeabilidad al vapor de agua, puesto que de todas las películas, el tratamiento T2 de almidón de banano verde 3% presenta mayor porcentaje de humedad con 4.79% y una permeabilidad al vapor de agua de 0.00058gmm/hPam<sup>2</sup>. Contradiendo a los resultados obtenidos por Valderrama (2014), los cuales indicaron que la capacidad de retención de agua disminuyó con el aumento de la humedad.

Bangyekan, Aht - Ong y Srikulkit (2006), concluyeron que las películas de almidón de yuca y quitosano poseen mayor capacidad para ser barrera al vapor de agua y un menor porcentaje de capacidad de retención de agua, comparado con las películas de almidón.

#### **4.2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS**

Para las propiedades mecánicas, tanto de elongación como de esfuerzo de tracción de corte, se pudo concluir que todos los tratamientos en estudio de películas de almidón banano verde y yuca son inversamente proporcionales, es decir, cuando el esfuerzo de tracción de corte es mayor el porcentaje de elongación disminuye. En diversos estudios se ha observado que al aumentar el valor del esfuerzo de tracción, el porcentaje de elongación disminuye y viceversa (Peressini *et al.*, 2004; Brindle y Krochta, 2008). Dato similar lo manifestaron Bourtoom y Chinnan (2008) y Liu *et al.* (2009), declaran que estudios de películas biodegradables elaboradas con mezclas de almidón de arroz y quitosano, mostraban un aumento en la resistencia a la tracción y una disminución en el porcentaje de elongación. Declaraciones a paralelo lo realiza Zamudio-Flores (2008) en las películas de almidón de plátano macho, en donde expuso que los valores del % de elongación están de acuerdo con el valor del esfuerzo de tensión, debido a que cuando es más rígida (valor alto del esfuerzo de tensión) se determina un valor bajo de % E.

Se registraron valores de elongación entre 0.95% a 2.84% entre todos los tratamientos, donde se pudo apreciar que dentro de su parámetro, el porcentaje es bajo, esto es debido a la baja concentración de plastificante que se empleó para la formulación de las láminas. Navarro (2016), manifestó que dentro de sus evaluaciones el porcentaje oscila entre 9.17% a 14.37% donde el uso que le dio al plastificante fue sin dilución y más concentrado, obteniendo así un mayor porcentaje de elongación. Ello nos muestra la importancia del empleo de plastificantes para el producto que se requiera obtener. A mayor porcentaje de plastificante, mayor será su elongación y por consiguiente mejor esfuerzo de tensión en el corte.

Sánchez-Aldana *et al.* (2015), apreció que a bajas concentraciones de glicerol la tensión fue mayor (como ocurrió a Dos Reis *et al.*, 2014) y citan que el incremento en la concentración de plastificante reduce las fuerzas intermoleculares con lo que se aumenta la flexibilidad y se reduce la resistencia de los materiales. La disminución de resistencia a la tensión de películas basadas en almidón por el aumento en la concentración del plastificante ha sido documentada por diversos autores (Días *et al.*, 2010; Muscat *et al.*, 2012; Jouki *et al.*, 2013). Inicialmente las películas de biopolímero de almidón con plastificante son muy flexibles y

luego de varios días se estabilizan y tornan más resistentes a la rotura por tracción manual (Arrieta y Palencia, 2016).

Sánchez *et al.* (2012) manifiesta que el quitosano mejora levemente la tensión hasta la ruptura de las películas almidón - glicerol, aunque disminuye la flexibilidad de las mismas.

Por otra parte, Torres *et al.* (2011) usaron el almidón extraído de 12 cultivos andinos: raíz de zanahoria blanca o apio (*Arracacia xanthorrhiza*), semilla de garbanzo (*Cicer arietinum*), plátano (*Musa paradisiaca*), tubérculo de oca (*Oxalis tuberosa*), raíz de yuca (*Manihot esculenta*), raíz de batata (*Ipomoea batatas*), tubérculo de papa amarilla (*Solanum goniocalyx*) y tubérculos de 5 variedades de papa blanca (*Solanum tuberosum*). Prepararon películas empleando glicerol en una relación 2:5 (glicerol: almidón en base seca) y determinaron propiedades mecánicas. Los más altos valores de elongación a la rotura correspondieron a las películas de yuca y batata. El más alto valor para el módulo de Young lo ofreció la película basada en batata y el menor la basada en zanahoria blanca. Las propiedades mecánicas fueron dependientes de la fuente de almidón utilizada.

#### **4.2.5 PROPIEDADES DE BIODEGRADACIÓN**

En ambos almidones en estudio se puede apreciar en los gráficos correspondientes que no hay una diferencia significativa en cuanto a su biodegradación. Cabrera, Madrigal y Vázquez (s/f), manifiestan que la biodegradabilidad no es función del material de origen, sino de la estructura química del plástico. Sin embargo, para que la biodegradación ocurra deben cumplirse otros requisitos, tales como la presencia de microorganismos capaces de llevarla a cabo y las condiciones ambientales requeridas para su desarrollo.

Si bien es cierto, las películas almidón, quitosano-almidón no se degradaron totalmente en la prueba de 21 días pero si demostraron una degradación significativa, puesto que los factores del suelo del vivero influyeron en la biodegradación, esto se debe según Rutiaga (2002) a los factores bióticos y abióticos y debido a la presencia de una gran diversidad microbiana, incluyendo hongos, bacterias, insectos, levaduras, algas y protozoarios, los cuales pueden estar presentes en rangos de  $500 \times 10^3$  a  $500 \times 10^6$  UFC/g de suelo. Así como a factores ambientales (humedad, temperatura, pH), ya que en un ambiente natural todos estos factores no están controlados.

Los resultado de las películas almidón y quitosano-almidón demuestran que en mayor tiempo de prueba se degradaran en condiciones aerobias y anaerobias en el medio ambiente, pueden biodegradarse en meses, similar al material dado (almidón de maíz termoplastificado y poliácido láctico) en la investigación de Mendoza y Velilla (2011), mientras el PEBD puede tardar cientos de años para descomponerse.

El más alto porcentaje de pérdida de peso a los 21 días lo presentó las películas de tratamientos T4 y T5 (películas quitosano-almidón) tanto para las láminas formuladas a partir de almidón de banano verde como almidón de yuca en condiciones anaeróbicas y en condiciones aeróbicas. El 21.19% lo registró el tratamiento T5 de almidón de yuca al 3% en

condiciones anaeróbicas y en condiciones aeróbicas registró un mayor porcentaje de pérdida de peso el tratamiento T5 con 21.20% de almidón de yuca al 3%. Navarro (2016) por consiguiente indicó que las películas quitosano-almidón de maíz tubo un mayor porcentaje de pérdida de peso de 47.44% en condiciones anaeróbicas y en condiciones aeróbicas para la película quitosano-almidón de arroz con 47.70% porcentajes similares en diferentes concentraciones y tipos de almidón contenidos en la matriz de la película.

Belard, Dole y Averous (2009) manifiestan que la mezcla de polímeros naturales hidrofílicos y poliésteres alifáticos es de gran interés, ya que podría dar lugar al desarrollo de una gama de matrices poliméricas biodegradables.

## CONCLUSIONES

- Ambos almidones fueron sometidos a análisis fundamentales, donde se pudo concluir que el porcentaje de humedad y cenizas es mayor en el almidón de banano verde a comparación del almidón de yuca, a su vez que la presencia de lípidos es mínima en ambos casos.
- En las propiedades físicas se concluye que; en cuanto al espesor, están directamente relacionados con la concentración de almidón. Asimismo, las películas que mostraron tener una mayor solubilidad al agua son aquellas que contienen almidón de yuca (T1, T2 y T3), y en el caso del almidón de banano verde se mostró amigable con el agua el T4 y T5. En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua se puede apreciar que en el resultado influye la concentración de almidón y espesor de la película. En cuanto a las propiedades mecánicas; se registró un mayor esfuerzo de tracción en el corte en las películas elaboradas a partir de almidón de banano verde y menor esfuerzo de tensión en las películas de yuca, haciéndolo a estas últimas menos rígidas.
- En la biodegradación al suelo se estimó una pérdida importante de peso de las películas, mostrando así, que estos se pueden degradar en un tiempo mucho menor al usual de los plásticos convencionales. Las películas que registraron mayor pérdida de peso fueron aquellas cuya mezcla tuvo quitosano-almidón. Además que éste sirve como alimento y fuente de abono a la flora.
- Quedó demostrado en sus diferentes análisis que la adición del quitosano en las películas es de vital importancia por su gran facilidad de asociarse a los almidones, además que el quitosano provee propiedades de barrera, elasticidad y sus películas son biodegradables

## RECOMENDACIONES

- Para investigaciones similares referentes a la elaboración de biopelículas se recomienda realizar otros experimentos usando otros de polisacáridos como papa, maíz, plátano, camote para tener una noción más clara de la importancia de su uso en la industria de plásticos. Asimismo, que dichas películas sean utilizadas como un recubrimiento en diferentes frutas de la región.
- Se recomienda incluir en la investigación la parte microbiológica en un ambiente aséptico, para determinar la actividad anti fúngica del aloe vera como parte de uno de sus componentes en las películas.
- Se sugiere formular películas experimentando con una mayor concentración de plastificantes, tanto como glicerina y alcohol polivinílico (PVA).
- Se recomienda que las películas formuladas adquieran distintas formas según el molde que lo contenga, por lo que puede aplicarse a distintos fines como sustituto en distintos campos de la industria del plástico o también para la elaboración de materiales usados para la exportación.
- Se recomienda desarrollar un análisis económico sobre el proceso de producción de las biopelículas para determinar su viabilidad como futura inversión.
- Se sugiere que el laboratorio de Agroindustrias de la Universidad Nacional de Piura, cuente con diversos equipos y materiales para desarrollar fácilmente algún proyecto. Promoviendo así investigaciones tecnológicas y científicas, siendo un gran aporte para nuestra universidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADÍA, P. 1979. Producción de almidón de banano por el método enzimático. Proyecto de Graduación. Lic. Ing. Química. San José, Costa Rica, Universidad. Facultad de Ingeniería. 89 p.

ABDOLLAHI, M., REZAEI, M. & FARZI, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*. 47 (4), 847-853.

AGULLO E., RODRIGUEZ M., RAMOS V. & ALBERTENGO L. 2003. Present and future role of chitin and chitosan in food. *Macromol Biosci*; 3(10):521-530.

American Society for Testing and Material. 1996. Standard test methods of water vapor transmission of materials. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, E 96-95.

American Society for Testing and Material. 2000. Standard terminology relating to plastics. ASTM D883 International.

ANGELES. 2015. Diseño de un proceso industrial para obtener plásticos biodegradables a partir de almidón de yuca. Pag. 23.

APARICIO A. 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), camote (*Ipomeae batata* (L) Lam) y plátano Valery (*Musa cavendish*). Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Veracruz. México. Pp. 9

ARANAL. 1999. Tecnología de almidones para alimentos. México. (Folleto).

ARGÜELLES-MONAL W., GARCÍA-ALONSO I. & PENICHE-COVAS C. 1989. Evaluación de películas de quitosano. *Revista Cubana de Química*. 5(1):1-6.

ARISTIZABAL J. & SÁNCHEZ, T. (2007). Guía Técnica Para Producción Y Análisis De Almidón De Yuca. Roma: Fao, 2007,153p.(Boletín de servicios agrícolas de la FAO;Nº163).ISBN 978-92-5-305677.

ARRIETA A. & PALENCIA S. 2016. Estudio electroquímico de un biopolímero compuesto PPy/almidón de cassava. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 36(1):26-35.

AVEROUS L. & BOQUILLON N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behavior. *Carbohydrate Polymers*, 63 (1), 61 – 71.

BADUI D. 1996. Química de los alimentos. Alambra mexicana. México. Pp. 69-84, 125-209, 588-595.

BADUI, D. 1999. Química de los alimentos. Cuarta Edición. Editorial Pearson. México. Capítulo 1.

BALLESTEROS. 2011. Composición de raíces de yuca y tubérculos de camote. Pag. 12.

BANGYEKAN C., AHT-ONG D. & SRIKULKIT K. 2006. Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. Carbohydrate Polymers; 63(1):61-71.

BELLO-PÉREZ, L. & TOVAR J. 2001. Memorias del Curso: Actualización en Química y Nutrición del Almidón. Yauhtepec, Morelos: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN).

BENTANCUR A., CHEL G. & CANIZARES H. 1997. Acetylation and characterization of Canavalia ensiformis starch”, J.Agric.Food Chem.,45, 378.

BERTUZZI M. et al. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. Journal of Food Engineering, 80(3): 972-978.

BOBBIO F., EI-DASH, A., BOBBIO, P., & RODRIGUES, L. 1978. Isolation and characterization of the physicochemical properties of the starch of jackfruit seed (Artocarpus heterophyllus) Cereal Chemistry, v. 55, p. 505-511.

BOHL K., LEIBOVICH S., BELEM P., WEST J. & POOLE-WARREN L.2002. Effects of nitric oxide releasing poly (vinyl alcohol) hydrogel dressings on dermal wound healing in diabetic mice, Wound Repair Regeneration; 10: 286.

BOURTOOM T. & CHINNAN M. 2008. Preparation and properties of rice starchchitosan blend biodegradable film. Food Sci. Technol; 41(9):1633-41.

BOSQUEZ E. & VERNON E. 2005. Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. Revista mexicana de Ingeniería Química. Vol. 4.

CABRERA M., ANA O., MADRIGAL A., LAURA V. & VÁSQUEZ G. (2007). Extracción y caracterización química de almidón de plátano y banano de las variedades FHIA-01, 20, 21 y 23. Documento IX Congreso de Ciencia de Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Colina. Pp. 306-314.

CAO N., FU Y. & HE J. 2007. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. Food Hydrocolloids v.21. 1153–1162 p.

CARBALLO E. & MARTÍNEZ E. 2010. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano. Tesis de posgrado. Universidad de El Salvador.



CERON M. 2013. El problema de la hidrofiliidad en materiales plásticos derivados de almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Edición especial No. 1 (41-48).

CHANG L. 2000. Reactive blending of biodegradable polymers: PLA and Starch. *J Polymers Environ*; 8 (1): 33-37.

CHARLES A. et al. 2005. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 7, p. 2717-2725.

CHEFTEL J. (1976). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*.

CHOLWASA B, DUANGDAO A, KAWEE S. 2003. Preparation and properties evaluation of chitosan. Coated cassava starch films. *Carbohydr Polym*, 63 (1): 61-71.

CORDENUNSI B. & LAJOLO F. 1995. Starch breakdown during banana ripening: Sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43, p. 347–351.

DEMIRGÖZ D.; ELVIRA C.; MANO J., CUNHA, A., PISKIN, E. & REIS R. 2000. “Starch-based biodegradable hydrogels with potential biomedical applications as drug delivery systems”. *Polym. Degrad. Stab.* Vol. 70, p. 161-170.

DEVILIEGHIERE F, VERMEULEN A. & DEBEVERE J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiol*; 21 (6): 703-714.

DÍAS B., CARMEN M., FÁBIO D. & JOÃO B. 2010. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*. 51(2):213-219.

DOLE P.; JOLY C.; ESPUCHE E.; ALRIC I. & GONTARD, N. 2004. Gas transport properties of starch based films. *Carbohydrate Polymers*, 58, 335–343.

DOS R., RENATA C.; DEVILLA I.; OLIVEIRA G., HENRIQUE H.; CORREA P. & ATHINA B. 2014. Mechanical properties, permeability and solubility of films composed of yam starch and glycerol. *Interciencia*. 39(6):410-415.

ECOEMBES. (2009). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos*, resumen ejecutivo.

EL-GHAOUTH A., ARUL J., PONNAMPALAM R. & BOULET M. 1991a. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science*. 56: 1618-1620.

EL-GHAOUTH A., ARUL J., PONNAMPALAM R. & BOULET M. 1991b. Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*. 15: 359-368.

ELLIS R., COCHRANE M., DALE M., DUFFUS C., LYNN A., MORRISON I., PRENTICE R., SWANSTON J. & TILLER S. 1998. Starch production and industrial use. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 77:298-310.

FLORES E., GARCÍA F., FLORES E., NÚÑEZ M., GONZÁLEZ R., & BELLO, L. (2014). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). *Acta Cient Venez*, 55, 86-90. ISSN 0001-5504.

FLORES E., GARCÍA F., FLORES E., NÚÑEZ M., GONZÁLEZ R., BELLO L., (2014). “Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto”. *Acta Científica Venezolana*, N°. 55: 86-90.

FRANCO M., DAIUTO E., DEMIATE I., CARVALHO L., LEONEL M., CEREDA M., VILPOUX O. & SARMENTO B. 2002. *Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill.

FRITZ H., SEIDENSTUCKER T., BOLZ U. & JUZA M. 1994. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission. Pag. 392.

GARCÍA E. & LAJOLO, F. 1988. Starch transformation during banana ripening: The amylase and glucosidase behavior. *Journal of Food Science*. Pag. 1181–1186.

GARCÍA V., BARUK P., BELLO L., ROMERO A. & SOLORZA J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(3).

GARCÍA & SÁNCHEZ. 2012. Elaboración y caracterización de películas comestibles a base de almidón extraído de raíces de yuca, *Manihot esculenta*, y de quitosano. Trabajo de grado. Programa de química. Facultad de ciencias básicas y tecnológicas. Universidad del Quindío.

GEYER R. (2017) *Science Advances*. Production, use, and fate of all plastics ever made. Vol. 3, no. 7.

GONTARD N., GUILBERT S. & CUQ J. 1993. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*. V.57, n.1, p. 190-195.

GRISI C. 2008. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

GUILBERT S. 1986. Food packaging and preservation. In: Mathlouthi, M. (ed) Theory and Practice in Technology and Application of Edible Protective Films. Elsevier Applied Science Publishing Co., London, England. pp: 371-394.

HENRIQUE C., CEREDA M. & SARMENTO S. 2008. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 1, p. 231-240.

HOOVER R. & RATNAYAKE. 2001. Determination of Total Amylose Content of Starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 2(3): 1 – 5

ILES S. (2017). Estudio de materiales termoplásticos obtenidos a partir de un copoliéster alifático – aromático y almidón de banano (*Musa paradisiaca*). Pag. 32.

JORGE Y PAMPLONA, ROGER. D. 2006. Enciclopedia de los alimentos y su poder curativo; tratado de bromatología y dietoterapia. Editorial sar. Tomo I yII. Biblioteca Educación y Salud. Pág. 70 – 72 Tomo II.

JUAREZ E., EVANGELISTA S., ROSALES O. & BELLO L. (2012). Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes. *Agrociencia*, 47, 1-12. ISSN 1405-3195.

KAEWATIP K. & THONGMEE, J. (2013). The effects of cross-linked starch on the properties of thermoplastic starch. En: *Materials & Design*. 2013, vol. 45. p 586-589.

KAYISU K. & HOOD L. 1981. Molecular structure of banana starch. *Journal of Food Science*. Pag. 1894–1897.

KROCHTA M., & C. DE MULDER-JOHNSTON. 1997. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol*. 51: 61-77.

LAZARIDOU A. & BILIADERIS, C. (2002). Thermophysical properties of chitosan. Chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. *Carbohydrate Polymers*, 48, , 179 –190.

LEON J. LESZEK M. (2006). Thermoplastic starch as packaging material. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria University of Groningen, the Netherlands Agricultural University of Lublin. Poland*.

LI H. & YU T. 2000. Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of science of food and agriculture* 81, 269 – 274.

LI Q., DUNN E., GRANDMAISON E. & GOOSEN M. 1992. Applications and properties of chitosan. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 7: 370-397.

LING L., OSMAN E., FERNÁNDEZ J. & REILLY P. 1982. Physical properties of starch from Cavendish banana fruit. *Starch/Staerke*. Pag. 184–188.

LIU Z. 2005. Edible films and coatings from starch. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in food Packaging* (pp. 318–332). London: Elsevier Academic Press.

LIU FJ, QIN B, HE LH Y SONG R. 2009. Novel starch/chitosan blending membrane: Antibacterial, permeable and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*; 78(1):146-150.

LÓPEZ M., RUIZ S., NAVARRO C., ORNELAS J., ESTRADA M., GASSOS L. & GARCÍA J. (2012). 1 Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, CP 85000, Cd. Obregón, Sonora, México. 2 Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. Ríos Conchos S/N, Parque Industrial Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. 3 Departamento de Ciencias Básicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Anillo envolvente PRONAF y Estocolmo s/n, 3231, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

LÓPEZ M., QUINTERO C., LUCAS A. (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Agronómica*. , 64(1), 11-21.

LUDEÑA G, ALFREDO. (2012). Acrilamida en el consumo de algarrobina, con fines de estandarización en un proceso tecnificado-Piura-Universidad Nacional de Piura. Perú.

MARTÍNEZ-CAMACHO et al., (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical an antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*, doy: 10.1016/j.carbpol.2010.04.069.

MARTÍNEZ D., GUILLÉN F., VALERDE J., SERRANO M., ZAPATA P. & BAILÉN, G., (2007). Aloe Vera Gel como Recubrimiento Comestible en Frutas y Hortalizas.

MATHEW S, BRAHMAKUMAR M. Y ABRAHAM T. 2006. Imagen microestructural y caracterización mecánica, química, térmica y de hinchazón de las propiedades de almidón-quitosano, películas de mezcla. División de tecnología y ciencias químicas, laboratorio de Investigación de la Región, Pappanamcode, Trivandrum-695019, Kerala, India.

MÉNDEZ A. 2010. Extracción de Almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.

- MENESES M., AGATÓN L., MEJÍA L., ENITH G. & DIEGO B. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Educación en Ingeniería*, 9, 128-139.
- MERCHAN et al., (2009). Estudio de la biodegradación aerobia de almidón termoplástico (TPS) *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. p. 39-40.
- MEZA A. 2006. Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para el recubrimiento de frutas frescas. Proyecto de especialización en biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa 76p.
- MORÍN E. 2010. Elaboración y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz ceroso y mucílago de nopal (*opuntia ficus*) usando la tecnología de extrusión termoplástica. Universidad Autónoma de Querétaro (México). Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- MORALES YANCHAPAX E. 2014. Caracterización de películas elaboradas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd), almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta*) y montmotillonita. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial – Quito.
- MOORTHY S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tubers starch. *Starch Stärke*. 54:559-5592.
- MUÑOZ J. 2014. Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera. Pag. 10.
- MUZZARELLI R. & ZATTONI A. 1986. Glutamate glucan and amino gluconate glucan, new chelating poliampholites obtained from chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*. 8: 137.
- NAVARRO M. 2016. Influencia de la fuente y concentración de almidón sobre las propiedades físicoquímicas y estructurales de las películas quitosano-almidón combinadas con glicerol para su uso en la agroindustria. Pag. 51.
- NAVIA P., VILLADA S. & CASTAÑEDA J. (2011). Patente de invención "Proceso de obtención de un material compuesto por harina de yuca, fibra de fique y glicerina". No. 78975.
- NISHIMURA S., KOGHO O., KURITA K. & KUZUHARA H. 1991. Chemospecific manipulations of a rigid polysaccharide: synthesis of novel chitosan derivatives with excellent solubility in common organic solvents by regioselective chemical modifications. *Macromolecules*. 24: 4745-4748.

NOVELO-CEN, L. & BENTACUR-ANCONA, D. 2005. Chemical and functional properties of *Phaseolus lunatus* and *Manihot esculenta* Starch Blends. *Starch*, 57 (9), 431 – 441.

OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP670863 (2013) Biodegradable compositions comprising starch.

PALMER J. 1979. Banano Products. In tropical foods chemistry and nutrition. Inglaterra. V.2. pp 625-635.

PARZANESSE M. 2012. Tecnologías para la Industria Alimentaria: Películas y recubrimientos comestibles. Ficha N°7. Alimentos Argentinos, MinAgri. [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenidos/sectores/tecnologias/Ficha\\_07\\_Pelicula Comestible.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenidos/sectores/tecnologias/Ficha_07_Pelicula_Comestible.pdf).

PAZ O. 2018. Diario el comercio. Contaminación: el rastro del plástico en el mar.

PELISSARI F., ANDRADE M., SOBRAL. J. & MENEGALLI C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids* 30 681-690.

PERESSINI D., BRAVIN B. & SENSIDONI A. 2004. Tensile properties, water vapour permeabilities and solubilities of starch-methylcellulose-based ediblefilms. *Italian Journal of Food Science*. 16(1):5-16.

PINGYI Z., ROY L., JAMES N., BRUCE R. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review. *Carbohydrate Polymers*. Pag. 443–458.

RAHMANA A., SINA T., RAHMAT, R. & SAMAD, A. “Thermal behaviour and interactions of cassava starch filled with glycerol plasticized polyvinyl alcohol blends” *Carbohydr. Polym.* Vol. 81, p. 805–810, 2010.

RAVI-KUMAR MNV. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*; 46(1):1-27.

REPAMAR M, CEPIS/PS (2000). Impacto ambiental de productos químicos auxiliares usados en la industria textil Argentina. Productos de acabados.

RIBEIRO E. & SERVALLI A. 2004. Química de Alimentos. São Paulo: Edgard Blucher.

RINAUDO M. 2008. Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. *Polymer International*; 57(3):397-430.

RIVERA. (2004). Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura. Residuos plásticos en la ciudad de Piura. Pag. 66.

ROBLES M. (2012). Relación entre algunas propiedades físicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Pag. 9.

ROCHA T., Demiate I. & Franco C. 2008. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas.

RUIZ A. (2006). Obtención y Caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Ingeniería y Ciencias. Volumen 2, Numero 4. p-5-28. Universidad EAFIT. Medellín – Colombia.

RUTIAGA Q. 2002. Elaboración de películas plásticas flexibles a partir de polímeros naturales como una alternativa de empaque y la evaluación de sus propiedades. Universidad Autónoma de Nuevo Leon – Facultad de Ciencias Biológicas. México.

SÁNCHEZ-ALDANA D., CONTRERAS-ESQUIVEL J., NEVÁREZ-MOORILLÓN, G. & AGUILAR C. 2015. Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón mexicano. CyTA - Journal of Food. 13(1):17-25.

SÁNCHEZ T., GARCÍA O. & PINZÓN M. 2012. Elaboración y caracterización de películas de almidón de yuca (*manihot esculenta*) variedad Ica cultivada en el departamento de Quindío. Vitae, 19 (1):S426-S429.

SANYANG M., SAPUAN S., JAWAID M., ISHAK M. & SAHARI J. (2015). Effect of glycerol and sorbitol plasticizers on physical and thermal properties of sugar palm starch based films. In Recent Advances in Environment, Ecosystems and Development. Proceedings of the 13th International Conference on Environment, Ecosystems and Development. April 23-25. (pp. 157-162). Kuala Lumpur, Malaysia.

SALLEH E., MUHAMAD I. & KHAIRUDDIN N. 2009. Structural characterization and physical properties of starch-based film. Engineering and Technology, 55 (1), 432-440.

SEGURA D., NOGUEZ R. & ESPÍN G. (2007) Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. Dimensión del problema de los desechos plásticos. Pag. 362.

SERAFÍN L., LEMOS P. & REIS M. (2000). Produção de bioplásticos por culturas microbianas. Biotecnología Microbiana.

SHAHIDI F., KMIL A., ARACHI A. & YOU-JIM, J. 1999. Food applications of chitin and chitosans. Trends in Food Science and Technology. 10: 37-51.

SILVA J. & DE QUEIROZ, AUGUSTO C. 2002. Análise e Alimentos- Métodos Químicos e Biológicos. Volume V. Edição 3. Cap. 1 y 2, 16-44.

SINGH N. & SINGH N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars, J Food Eng.70, 117.

SOTHORNVIT R. & KROCHTA J. (2005). Plasticizers in edible films and coatings. En: Innovations in food packagings, Han, J.H. (ed). . Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.

SOTO. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa Cavendishii*) y banana verde (*Musa Paradisiaca*). Revista Boliviana de Química, 27(2).

SOUZA C., SILVA J., SILVA J., LÓPEZ P. VEIGA-SANTOS J. & DRUZIAN. 2011. Agric. Food Chem. 59, 2248.

THARANATHAN R. & KITTUR F. 2003. Chitin - The undisputed biomolecule of great potential. Critical Reviews in Food Science and Nutrition; 43(1):61-87.  
Todo es química. 2011. Sustancias Orgánicas de interés. Amilosa.

TORRES F., TRONCOSO O., TORRES C., DIAZ D. & AMAYA E. 2011. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. International Journal of Biological Macromolecules. 48(4):603-606.

VALDERRAMA B. 2014. Evaluación del comportamiento de películas comestibles de quitosano almacenadas bajo condiciones controladas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias Bogotá – Colombia.

VAN SOEST J., HULLEMAN D. DE WIT & VLIEGENTBART J. 1996. Crystallinity in starch bioplastics. Ind. Crop. Prod., 5, 11-22 p.

VANEGAS H. 2014. Obtención de películas biodegradables a partir de mezclas de quitosano de cáscara de camarón y agentes plastificantes. Universidad Central del Ecuador-Quito.

VEGA D., AMPUERO N., DÍAZ L. & LEMUS R. (2010). El Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) Como Componente de Alimentos Funcionales. Mundo Alimentario, 15-16.

VEIGA SANTOS P. OLIVEIRA M. CEREDA, A. & SCAMPARINI. 2007. Food Chem. 103, 255.

VELÁSQUEZ A., RUIZ C., DE OLIVEIRA J. 2010. Ethanol production process from banana fruit and its lignocellulosic residues: Energy analysis. Energy. Pag 3081 y 3087.



VILPOUX & AVEROUS.(2002). Starch based plastics. Technology, use and potentialities of Latin American starchy tubers. Chapter 18. Francia.

VON LOESECKE H. 1950. Bananas (2nd ed). New York: Interscience Publishers. Pag. 52–66.

WALISZEWSKI K., APARICIO M., BELLO L. & MONROY, J. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. Carbohydrate Polymers. Pag. 237–242.

WHISTLER R., BEMILLER, J. 1997. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 1997. Gagan Press. St. Paul, Minnesota. 241 p

WITTANA T. 2009. Microcomposites of rice starch film reinforced with microcrystalline cellulose from palm pressed fiber. International Food Research Journal, Vol. 16, N°.4, pp. 493-500. ISSN: 22317546.

YEON-HUM Y., YOUNG-HO N. & SOON-DO Y. 2006. Mechanical properties with the functional group of additives for starch/pva blend film. Journal of polymers and the environment, 14, 71 – 78 p.

ZAMUDIO-FLORES P. 2005. Elaboración de películas degradables de almidón de plátano: evaluación de sus propiedades mecánicas y de barrera. Tesis de Maestría. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos, México.

ZAMUDIO-FLORES P. 2008. Caracterización estructural de películas elaboradas con almidón modificado de plátano y con quitosano. Tesis de Doctorado. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos, México

ZAMUDIO FLORES P., BELLO PEREZ L., Et Al (2008). Caracterización parcial de películas preparadas con almidon oxidado de banano.

ZAMUDIO B., VARGAS A., GUTIÉRREZ F. & BELLO L. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. Agrociencia, 44, 283-295.

ZARITZKY N., 2007. Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). UNLP-CONICET. Disponible en: <http://www.innova-uy.info/docs/presentaciones/20071010/2007 PPTNoemiZaritzky.pdf>

ZEVALLOS C. 2016. Formulación y aplicación de un recubrimiento a base de quitosano y gel de sábila (*Aloe vera*) para el tratamiento postcosecha del limón sutil. Pag. 72.

**ANEXOS**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**Anexo A. Extracción de Almidón (Banano Verde y Yuca)**



Foto A.1: Banano Verde troceado.



Foto A.2: Yuca troceada.



Foto A.3: Licuado de las muestras.



Foto A.4: Filtrado en tela organza.



Foto A.5: Sedimentación.



Foto A.6: Purificación de las muestras con alcohol.



Foto A.7: Muestra lista para secar.



Foto A.8: Secado en estufa.



Foto A.9: Muestra seca.



Foto A.10: Triturado de la muestra.



Foto A.11: Almidón de yuca.



Foto A.12: Almidón de banana verde.

## Anexo B. Identificación de almidón.



Foto B.1: Pesar 1gr de almidón de b. verde.



Foto B.2: Pesar 1gr de almidón de yuca.



Foto B.3: Se suspendió la muestra en un vaso precipitado con 50ml de agua destilada.

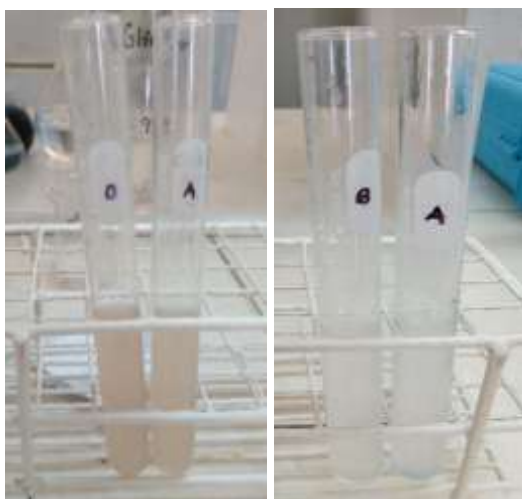


Foto B.4: Con una pipeta se extrajo 1ml del mucílago obtenido y se vació en un tubo de ensayo. Banano verde y Yuca.

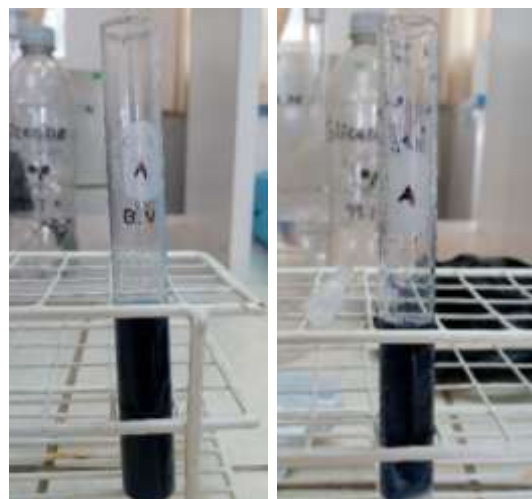


Foto B.5: Se adhirió 0.02ml de solución de lugol a través de una pipeta digital.

### Anexo C. Identificación de Amilosa y Amilopectina.



Foto C.1: Pesado. Adicionar la muestra al matraz.



Foto C.2: Hidróxido de Sodio 1N y Etanol al 95%.



Foto C.3: Almidón, Hidroxido de Sodio 1N y Etanol al 95%.



Foto C.4: Aforado hasta el menisco del matraz con agua destilada.



Foto C.5: 50ml de agua destilada, 5ml de la preparación inicial, 1ml de ácido acético 1N y 2ml de yodo al 2%. Completar hasta el menisco.





Foto C.6: Lectura en el espectrofotómetro.

#### Anexo D. Determinación de Lípidos.



Foto D.1: Pesado de las muestras.



Foto D.2: Extracción de lípidos en un equipo Soxhle.



Foto D.3: Secado en una estufa.



Foto D.4: Pesado de los balones con su respectivo lípido.

### **Anexo E. Determinación de Humedad por el método rápido de Termobalanza.**



Foto E.1: Pesado de la materia prima, tanto del banano verde como de la yuca para determinar el % de humedad presente en ellos.

### **Anexo F. Determinación de Cenizas.**



Foto F.1: Muestras pesadas por duplicado de yuca y b. verde.



Foto F.2: Incineración de las muestras en la mufla.



Foto F.3: Programación de la mufla a 550°C.



Foto F.4: Muestras incineradas.



Foto F.5: Pesado de las muestras incineradas.

## Anexo G. Extracción del Gel de Sábila.



Foto G.1: Pencas desinfectadas con NaClO al 2%.



Foto G.2: Extracción del gel de sábila.

## Anexo H. Preparación de las Biopelículas.



Foto H.1: Almidón de Yuca en agitación constante a 80°C.



Foto H.2: A. de Banano verde en agitación constante a 80°C.

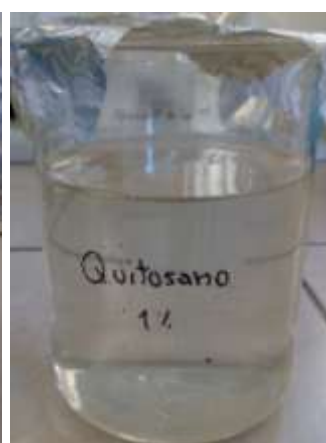
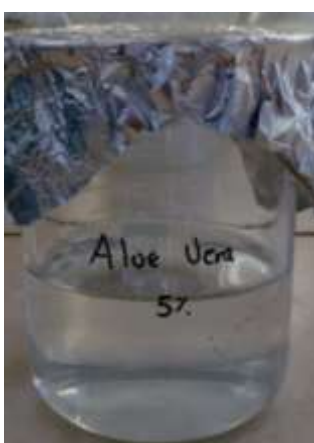


Foto H.3: Muestras preparadas para la elaboración de las biopelículas para sus diferente tratamientos.





Foto H.4: Una vez adicionado uno de los componentes que conforman la película, se deja homogenizar 30 minutos antes de adicionar el siguiente componente.



Foto H.5: Se sonicó cada mezcla por 20min. y se dispersó en moldes de acrílico.



Foto H.6: Secado en la estufa a 60°C durante 15 horas.



Foto H.7: Extracción de las películas de las placas.



## **Anexo I. Medición del Espesor.**



Foto I.1: Instrumento usado para determinar el espesor. Micrómetro manual.



Foto I.2: Medición de 10 puntos al azar de cada film.

## **Anexo J. Determinación de Humedad.**



Foto J.1: Corte de las películas en láminas de 2x2cm.



Foto J.2: Luego de ser pesadas, las láminas fueron colocadas en placas petri.



Foto J.3: Se secó en una estufa a 105°C por 24 horas.

#### **Anexo K: Determinación de Solubilidad.**



Foto K.1: Pesado de las láminas previamente cortadas.



Foto K.2: Sumersión de las láminas durante 1 hora en agitación constante a temperatura ambiente.



Foto K.3: Muestras de banana verde y yuca colocadas en placas petri para luego ser secadas en la estufa.

#### **Anexo L. Determinación de la Permeabilidad al Vapor de Agua.**



Foto L.1: Activando sílica gel en una estufa.



Foto L.2: Llenado de la sílica gel en tubos de ensayo.



Foto L.3: Sellado de la boca del tubo de ensayo con lámina, parafilm y papel aluminio.



Foto L.4: Pesado de las muestras.



Foto L.5: Guardado de las muestras en un desecador.

### **Anexo M. Esfuerzo de Tracción de Corte y Elongación.**



Foto M.1: Cortar por triplicado cada muestra.



Foto M.2: Medir el espesor de todos los films.



Foto M.3: Medición de la tensión y elongación en el texturómetro.

### **Anexo N. Biodegradación al suelo.**



Foto N.1: Escarbar 2 y 12cm de tierra para la evaluación.



Foto N.2: Cuadrar las divisiones hechas de cartón.





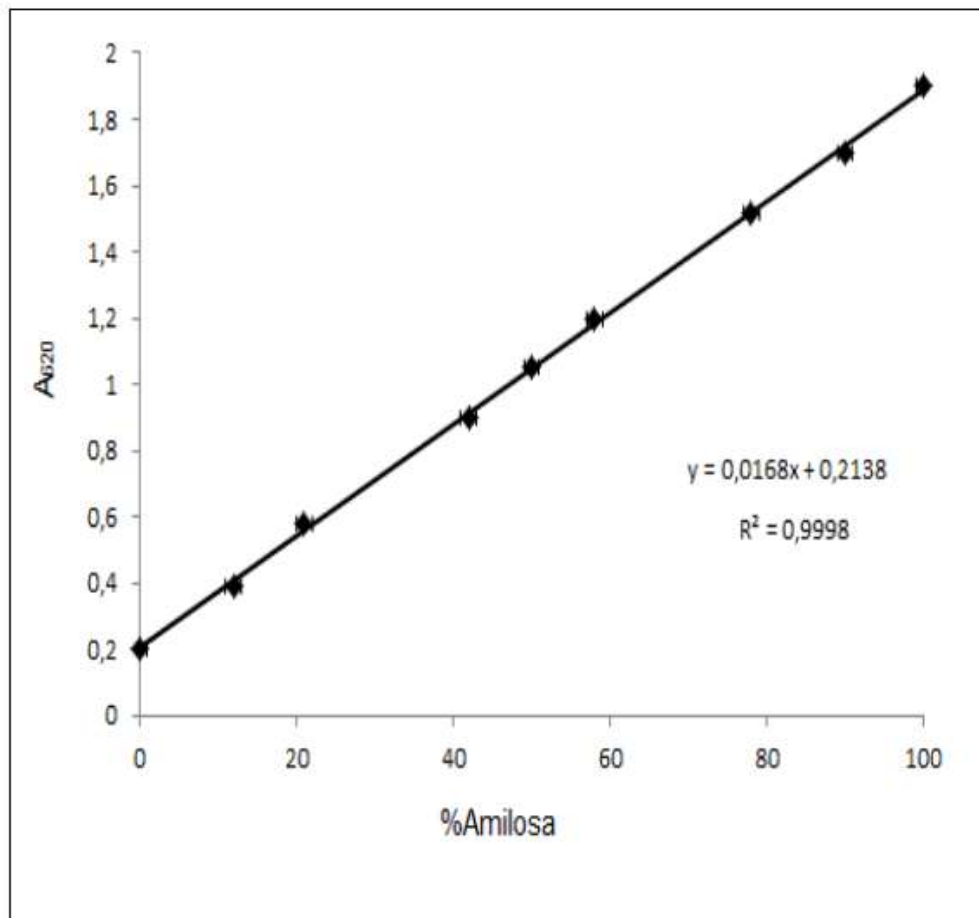
Foto N.3: Luego de ser pesadas, colocar las tres repeticiones en cada división. Ello debe estar debidamente rotulado.



Foto N.4: Enterrar las muestras.

## ANEXOS CURVAS Y TABLAS

### Anexo 1. Curva de Calibración.



Fuente: HOOVER Y RATNAYAKE, (2001)

**Anexo 2. Resultados finales de la Permeabilidad al vapor de agua.**

	Trat.	dm/dt (g/h)	Área (m <sup>2</sup> )	WVT (g/hm <sup>2</sup> )	S (Pa)	R1	R2	Permeanza (g/hPam <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	PVA (gmm/hPam <sup>2</sup> )
A. Bv 3%	1	0.0014	0.000133	10.2757	3406.4	0.606	0	0.0050	0.099	0.00049
	2	0.0018	0.000133	13.1579	3406.4	0.606	0	0.0064	0.091	0.00058
	3	0.0015	0.000133	11.0276	3406.4	0.606	0	0.0053	0.064	0.00034
	4	0.0016	0.000133	11.7795	3406.4	0.606	0	0.0057	0.068	0.00039
	5	0.0018	0.000133	13.2832	3406.4	0.606	0	0.0064	0.08	0.00051
A. Bv 4%	1	0.0017	0.000133	12.7820	3406.4	0.606	0	0.0062	0.114	0.00071
	2	0.0013	0.000133	10.0251	3406.4	0.606	0	0.0049	0.12	0.00058
	3	0.0011	0.000133	8.0201	3406.4	0.606	0	0.0039	0.103	0.00040
	4	0.0013	0.000133	9.7744	3406.4	0.606	0	0.0047	0.092	0.00044
	5	0.0015	0.000133	11.5288	3406.4	0.606	0	0.0056	0.093	0.00052
A.Y 3%	1	0.0011	0.000133	8.5213	3406.4	0.606	0	0.0041	0.097	0.00040
	2	0.0015	0.000133	11.5288	3406.4	0.606	0	0.0056	0.077	0.00043
	3	0.0017	0.000133	12.5313	3406.4	0.606	0	0.0061	0.077	0.00047
	4	0.0014	0.000133	10.5263	3406.4	0.606	0	0.0051	0.07	0.00036
	5	0.0017	0.000133	12.7820	3406.4	0.606	0	0.0062	0.075	0.00046
A.Y 4%	1	0.0012	0.000133	9.0226	3406.4	0.606	0	0.0044	0.103	0.00045
	2	0.0012	0.000133	9.0226	3406.4	0.606	0	0.0044	0.107	0.00047
	3	0.0012	0.000133	9.0226	3406.4	0.606	0	0.0044	0.09	0.00039
	4	0.0010	0.000133	7.2682	3406.4	0.606	0	0.0035	0.082	0.00029
	5	0.0012	0.000133	9.0226	3406.4	0.606	0	0.0044	0.085	0.00037

Tabla 2.1. Resultados finales de la Permeabilidad al vapor de agua.

**Anexo 3. Resultados finales del Esfuerzo de tracción en el corte y % de Elongación.**

	Trat.	Fuerza de Rotura (N)	Distancia de Alargamiento (mm)	Espesor del film (mm)	Longitud de muestra (mm)	Ancho de film (mm)	Área Transversal (mm <sup>2</sup> )	Alargamiento (%)	ETC (N/mm <sup>2</sup> )
A. Bv 3%	1	15.7	1.96	0.079	100	25	1.98	1.96	7.95
	2	18.17	1.65	0.086	100	25	2.15	1.65	8.45
	3	47.90	1.86	0.172	100	25	4.3	1.86	11.14
	4	11.9	2.27	0.066	100	25	1.65	2.27	7.21
	5	13.27	2.21	0.073	100	25	1.83	2.21	7.27
A. Bv 4%	1	103.66	2.26	0.205	100	25	5.13	2.26	20.23
	2	24.77	2.09	0.110	100	25	2.76	2.09	8.98
	3	21.95	2.41	0.086	100	25	2.15	2.41	10.21
	4	22.36	2.47	0.086	100	25	2.16	2.47	10.36
	5	18.49	2.40	0.080	100	25	1.99	2.40	9.29
A. Y 3%	1	3.74	1.36	0.065	100	25	1.61	1.36	2.32
	2	6.6	2.12	0.084	100	25	2.10	2.12	3.14
	3	10.25	1.60	0.078	100	25	1.95	1.60	5.26
	4	10.88	2.57	0.067	100	25	1.67	2.57	6.53
	5	10.39	2.69	0.062	100	25	1.54	2.69	6.74
A. Y 4%	1	17.72	2.15	0.078	100	25	1.94	2.15	9.13
	2	9.86	0.95	0.109	100	25	2.73	0.95	3.62
	3	23.30	2.02	0.12	100	25	3.00	2.02	7.77
	4	18.85	2.84	0.082	100	25	2.05	2.84	9.19
	5	11.94	2.92	0.077	100	25	1.93	2.92	6.20